

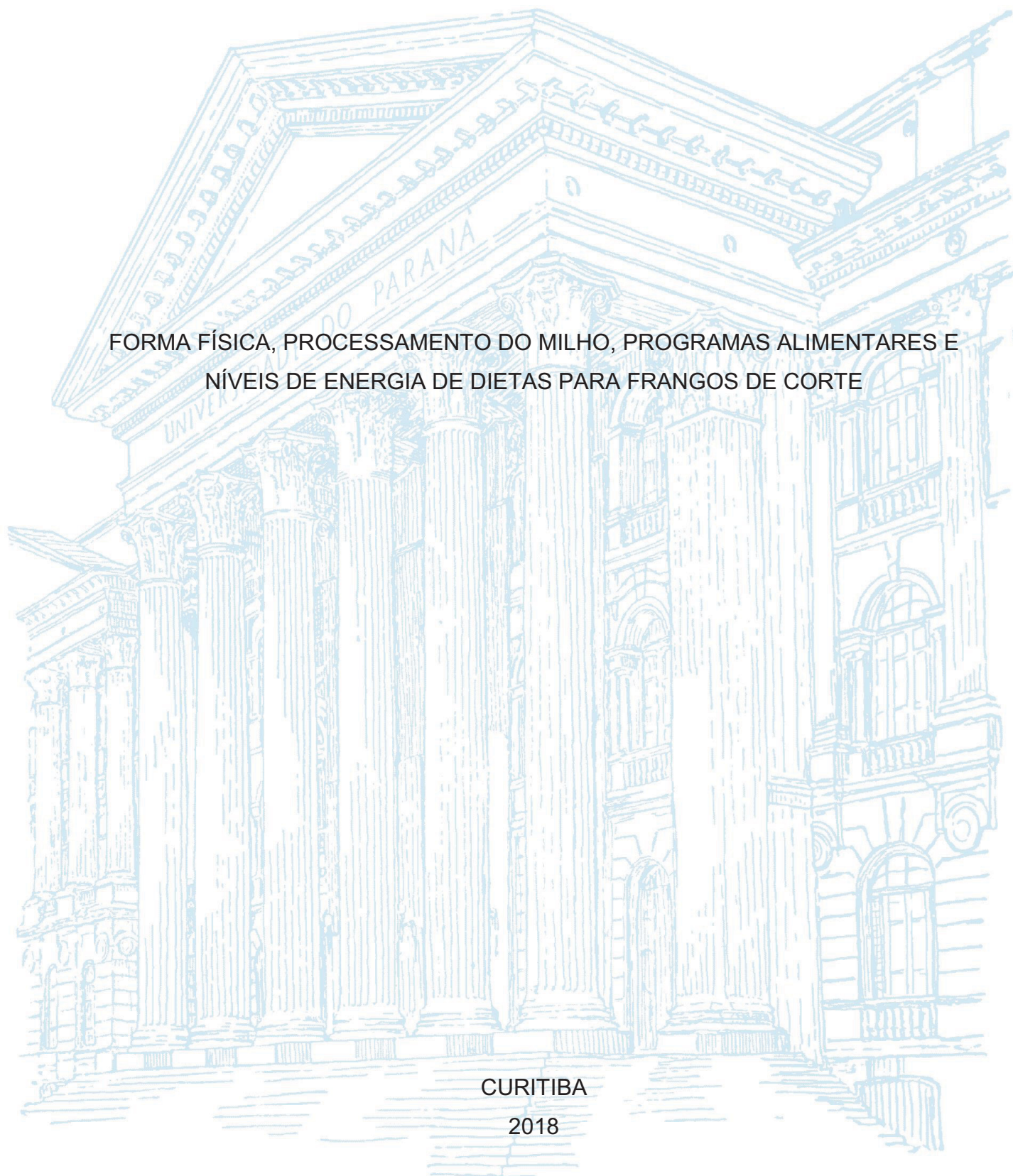
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANDRÉIA MASSUQUETTO

FORMA FÍSICA, PROCESSAMENTO DO MILHO, PROGRAMAS ALIMENTARES E
NÍVEIS DE ENERGIA DE DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE

CURITIBA

2018



ANDRÉIA MASSUQUETTO

FORMA FÍSICA, PROCESSAMENTO DO MILHO, PROGRAMAS ALIMENTARES E
NÍVEIS DE ENERGIA DE DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Doutor, Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Alex Maiorka

Coorientador: Dr. Everton Luís Krabbe

CURITIBA

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS/UFPR -
BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, DOUGLAS ALEX JANKOSKI CRB 9/1167
COM OS DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Massuquetto, Andréia
M422f Forma física, processamento do milho, programas
alimentares e níveis de energia de dietas para frangos de
corte / Andréia Massuquetto. - Curitiba, 2018.
135 f. : grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná.
Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia.
Orientador: Alex Maiorka
Coorientador: Everton Luís Krabbe

1. Frango de corte – Alimentação e rações. 2. Rações.
3. Nutrição animal. 4. Dieta em veterinária. I. Maiorka, Alex.
II. Krabbe, Everton Luís. III. Título. IV. Universidade Federal
do Paraná.

CDU 636.5.033.084




MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ZOOTECNIA

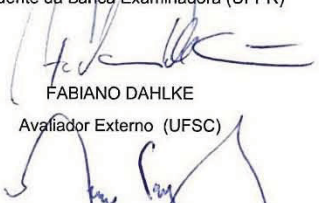
TERMO DE APROVAÇÃO

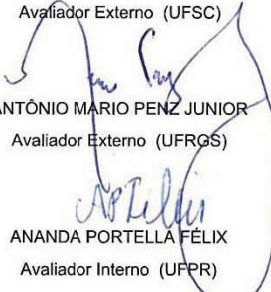
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ZOOTECNIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **ANDREIA MASSUQUETTO** intitulada: **"Forma física, processamento do milho, programas alimentares e níveis de energia de dietas para frangos de corte"**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua A PROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 19 de Março de 2018.


ALEX MAIORKA
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


FABIANO DAHLKE
Avaliador Externo (UFSC)


ANTÔNIO MARIO PENZ JUNIOR
Avaliador Externo (UFRGS)


ANANDA PORTELLA FÉLIX
Avaliador Interno (UFPR)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o protocolo número 020/2015, referente ao projeto “**Avaliação de parâmetros do processo de pelletização de dietas para frangos de corte**”, sob a responsabilidade de **Alex Maiorka** – que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino – encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de Outubro, de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA) DO SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - BRASIL, com grau B de invasividade, em reunião de 08/07/2015

Vigência do projeto	Agosto de 2015 a Outubro de 2015
Espécie/Linhagem	Frangos de corte Cobb
Número de animais	2368
Peso/Idade	1-49 dias/50 g a 3,0 kg
Sexo	Machos
Origem	Incubatório comercial

CERTIFICATE

We certify that the protocol number 020/2015, regarding the project “**Evaluation of pelletization process parameters in diets for broilers chickens**”, under **Alex Maiorka** supervision – which includes the production, maintenance and/or utilization of animals from Chordata phylum, Vertebrata subphylum (except Humans), for scientific or teaching purposes – is in accordance with the precepts of Law nº 11.794, of 8 October, 2008, of Decree nº 6.899, of 15 July, 2009, and with the edited rules from Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), and it was approved by the ANIMAL USE ETHICS COMMITTEE OF THE AGRICULTURAL SCIENCES CAMPUS OF THE UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (Federal University of the State of Paraná, Brazil), with degree B of invasiveness, in session of 07/08/2015.

Duration of the project	August 2015 to October 2015
Specie/Line	Broilers Cobb
Number of animals	2368
Wheight/Age	1-49 days/50 g to 3.0 kg
Sex	Males
Origin	Commercial hatchery

Curitiba, 08 de Julho de 2015.

Ananda Portella Félix
Presidente CEUA-SCA

Simone Tostes de Oliveira Stedile
Vice-Presidente CEUA-SCA



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o protocolo número 064/2017, referente ao projeto **“Processamento do milho em dietas com diferentes formas físicas para frangos de corte”**, sob a responsabilidade de **Alex Maiorka** – que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino – encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de Outubro, de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA) DO SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - BRASIL, com grau 1 de invasividade, em reunião de 07/07/2017.

Vigência do projeto	Setembro/2017 até Novembro/2017
Espécie/Linhagem	<i>Gallus gallus domesticus</i> (ave) / Cobb 500
Número de animais	1080
Peso/Idade	45 g / 1 dia
Sexo	Macho
Origem	Incubatório comercial em Castro, Paraná

CERTIFICATE

We certify that the protocol number 064/2017, regarding the project **“Corn processing in diets with different physical forms for broilers”** under **Alex Maiorka** supervision – which includes the production, maintenance and/or utilization of animals from Chordata phylum, Vertebrata subphylum (except Humans), for scientific or teaching purposes – is in accordance with the precepts of Law nº 11.794, of 8 October, 2008, of Decree nº 6.899, of 15 July, 2009, and with the edited rules from Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), and it was approved by the ANIMAL USE ETHICS COMMITTEE OF THE AGRICULTURAL SCIENCES CAMPUS OF THE UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (Federal University of the State of Paraná, Brazil), with degree 1 of invasiveness, in session of 07/07/2017.

Duration of the project	September/2017 until November/2017
Specie/Line	<i>Gallus gallus domesticus</i> (bird) / Cobb 500
Number of animals	1080
Wheight/Age	45 g / 1 day
Sex	Male
Origin	Commercial incubatory in Castro, Paraná

Curitiba, 7 de julho de 2017.

Chayane da Rocha

Chayane da Rocha

Coordenadora CEUA-SCA

*Dedico este trabalho ao meu pai
Luiz André... Meu herói... Minha estrela!*

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Angela pelo amor incondicional, por ser responsável pela minha educação, formação do meu caráter e por ser meu porto seguro.

Ao meu pai Luiz (*in memoriam*) pelo amor: sentimento que nos une além da vida; por todo o esforço para garantir meus estudos e por ser meu maior exemplo de vida.

Ao meu irmão André pelo amor, amizade e apoio nos momentos mais difíceis.

Ao meu namorado Jean pelo amor, companheirismo nos momentos de alegria e de dificuldades e por ter se tornado meu grande amigo.

Ao meu orientador Alex Maiorka, pela dedicação, paciência, amizade e conhecimentos repassados durante todo o período que passei na UFPR.

Ao meu coorientador Everton Luis Krabbe pelas valiosas discussões e ensinamentos.

Aos demais professores que foram importantes na minha formação, em especial a Simone G. de Oliveira, Ananda P. Félix, Edson de Oliveira, Antônio J. Scandolera, Fabiano Dahlke, Ana Vitória F. da Silva, Sebastião A. Borges e Chayane da Rocha.

Aos pós-graduandos e graduandos do Laboratório de Estudos e Pesquisa em Produção e Nutrição de Animais Não-Ruminantes (LEPNAN) pelo companheirismo nos momentos de trabalho na fazenda, análises laboratoriais, discussões no LEPNAN e nos momentos de festas e churrascos.

A todos os meus familiares e queridos amigos que estiveram ao meu lado ao longo dessa jornada.

Ao amigo Diego Surek pela enorme ajuda na realização deste trabalho e pelos ensinamentos.

Aos profissionais do Laboratório de Nutrição Animal, em especial: Cleusa, Marcelo, Aldo, Hair e Janise, pelo auxílio nas análises, discussões e ensinamentos.

Ao Professor Adam Fahrenholz, aos pesquisadores Ramon Malheiros, Vera Moraes e colegas da North Carolina State University, pelos ensinamentos e companheirismo durante o período maravilhoso que passei nos Estados Unidos.

A Capes pela bolsa de doutorado concedida.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Frangos de corte alimentados com dietas termicamente processadas apresentam melhor desempenho, entretanto, ainda existem muitas dúvidas sobre a efetividade dos resultados esperados. Dessa forma, o objetivo geral desta tese foi tentar elucidar os motivos pelos quais o processamento térmico de ingredientes e rações favorece o desempenho de frangos de corte. Foram realizados experimentos avaliando dietas com diferentes formas físicas, níveis crescentes de energia, fornecidas de acordo com programas alimentares distintos, bem como a inclusão de milho submetido a diferentes tipos de processamento térmico sobre desempenho, características de carcaça e digestibilidade das frações da dieta em frangos de corte; e qualidade física das dietas. Em todos os experimentos, a peletização promoveu aumento do consumo de ração (CR) e ganho de peso (GP). No capítulo 1 foi demonstrado que o aumento no CR é um dos fatores mais importantes para que a peletização promova melhor desempenho, pois ao equalizar o consumo da dieta peletizada à mesma quantidade do consumido da farelada, os frangos apresentaram GP e conversão alimentar (CA) semelhantes. Além disso, a restrição do consumo resultou em menor rendimento de carcaça e menor deposição de proteína na carcaça, ao passo que o fornecimento de dietas peletizadas à vontade proporcionou maior deposição de proteína na carcaça. Entretanto, o alto consumo proporcionado pelas dietas peletizadas aumentou a quantidade de gordura abdominal e na carcaça. No capítulo 2, foi observado que quando há redução do nível de energia da dieta, as aves aumentam o CR na tentativa de compensar o déficit energético. A redução da energia da dieta permite a diminuição da gordura na carcaça e consiste numa importante ferramenta diluidora de custos com alimentação. Neste estudo também foi observado que o alto consumo proporcionado pelo fornecimento de peletes de alta qualidade física pode reduzir a digestibilidade. Frangos alimentados com dietas peletizadas apresentaram menor coeficiente de digestibilidade ileal da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), amido e energia bruta. Além disso, ao avaliar o efeito do processamento térmico sobre a digestibilidade, foi observado que a peletização exerce pouco efeito sobre a disponibilidade das frações da dieta. O uso de processamentos mais intensos como a expansão, pode ser uma ferramenta para intensificar o tratamento térmico e melhorar o aproveitamento dos ingredientes. No capítulo 3, foi verificado que a expansão do milho e sua inclusão na dieta completa melhoram a digestibilidade da MS, PB, amido (disponível, resistente e total) e aumento da energia digestível ileal. A inclusão de milho expandido em dietas peletizadas favoreceu a adesão entre as partículas e resultou em peletes duráveis, com menor quantidade de finos, o que também corroborou para o maior desempenho das aves. No capítulo 4, foi possível estimar a equivalência do processamento térmico do milho e da peletização de dietas para frangos de corte. Foi observado que a peletização proporciona liberação de 177 kcal/kg no GP e 36 kcal/kg na CA. O processo de expansão do milho se mostrou mais eficiente ao de peletização, resultando em 117 kcal/kg a mais para CR e 84 kcal/kg a mais para CA.

Palavras-chave: Aves. Desempenho. Digestibilidade. Equivalência energética. Processamento térmico. Qualidade dos peletes.

ABSTRACT

Broilers fed thermally processed diets have better performance, however, there are still many doubts about the effectiveness of the expected results. Thus, the general objective of this thesis was to try to elucidate the reasons why the thermal processing of ingredients and feeds improve the broilers performance. For this, experiments were conducted to evaluate diets with different physical forms, with increasing energy levels, provided according to different feeding programs, as well as the inclusion of corn submitted to different types of thermal processing on performance, carcass characteristics and nutrient digestibility in broilers; and pellet quality. In all experiments, pelleting increased feed intake (FI) and weight gain (WG). In chapter 1, it was shown that FI increase is one of the most important factors for pelleting to promote better performance, because when the pelleted diet consumption was equalized to the amount that was consumed of mash diet, the chickens presented the same WG and feed conversion ratio (FCR). In addition, the feed restriction resulted in lower carcass yield and lower protein deposition in the carcass, while pelleted diets provided *ad libitum* resulted in greater protein deposition in the carcass. However, the high FI provided by pelleted diets increased the amount of abdominal fat and in the carcass. In chapter 2, it was observed that when the energy level of the diet is reduced, the birds increase the FI in an attempt to compensate for the energy deficit. The reduction of dietary energy allows the reduction of fat in the carcass and is an important food-dilution tool. In this study it was also observed that the high intake of high physical quality pellets can reduce the digestibility. Chickens fed pelleted diets showed lower ileal digestibility coefficient of dry matter (DM), crude protein (CP), starch and crude energy. In addition, when the effect of thermal processing on digestibility was evaluated, it was observed that pelleting promote little effect on the dietary fractions availability. The use of more intense processes such as expansion can be a tool to intensify the heat treatment and improve the ingredients use. In chapter 3, it was verified that the corn expansion and its inclusion in the complete diet improved the digestibility of DM, PB, starch (available, resistant and total) and increased ileal digestible energy. The inclusion of expanded corn in pelleted diets favored adhesion between the particles and resulted in durable pellets with less fines, which was also important to the higher performance of the birds. In chapter 4, it was possible to estimate the equivalence of corn thermal processing and pelleting of broiler diets. Pelleting has been observed to provide a release of 177 kcal/kg in WG and 36 kcal/kg in FCR. The corn expansion process was more efficient than pelleting, resulting in 117 kcal/kg more for FI and 84 kcal/kg more for FCR.

Key-words: Digestibility. Equivalence. Pellet quality. Performance. Poultry. Thermal processing.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO DE LITERATURA

FIGURA 1 - RELAÇÃO ENTRE CONSUMO DE RAÇÃO E DIGESTIBILIDADE DO AMIDO EM FRANGOS DE CORTE ALIMENTADOS COM DIETAS À BASE DE TRIGO (ADAPTADO DE SVIHUS).....31

FIGURA 2 - FATORES INFLUENCIANDO A VARIABILIDADE DO ÍNDICE DE DURABILIDADE DOS PELETES (PDI). ADAPTADO DE MURAMATSU ET AL. (2015).....37

CAPÍTULO IV

FIGURA 1 - REGRESSÃO LINEAR DO CONSUMO DE RAÇÃO (CR) DE FRANGOS DE CORTE ALIMENTADOS COM DIETAS FARELADAS COM NÍVEIS CRESCENTES DE ENERGIA.....123

FIGURA 2 - REGRESSÃO LINEAR DA CONVERSÃO ALIMENTAR (CA) DE FRANGOS DE CORTE ALIMENTADOS COM DIETAS FARELADAS COM NÍVEIS CRESCENTES DE ENERGIA.....123

FIGURA 3 - REGRESSÃO LINEAR DO GANHO DE PESO (GP) DE FRANGOS DE CORTE ALIMENTADOS COM DIETAS FARELADAS COM NÍVEIS CRESCENTES DE ENERGIA.....124

FIGURA 4 - REGRESSÃO LINEAR DA CONVERSÃO ALIMENTAR (CA) DE FRANGOS DE CORTE ALIMENTADOS COM DIETAS FARELADAS COM NÍVEIS CRESCENTES DE ENERGIA.....124

LISTA DE TABELAS

REVISÃO DE LITERATURA

TABELA 1 - EFEITO DA PELETIZAÇÃO SOBRE O CONSUMO DE RAÇÃO EM FRANGOS DE CORTE	25
TABELA 2 - EFEITO DO TAMANHO DE PARTÍCULAS SOBRE A DURABILIDADE DOS PELETES.....	34

CAPÍTULO I

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO DAS DIETAS EXPERIMENTAIS.....	52
TABELA 2 - EFEITO DA EQUALIZAÇÃO DE CONSUMO E DA PELETIZAÇÃO SOBRE CONSUMO DE RAÇÃO (CR), GANHO DE PESO (GP), CONVERSÃO ALIMENTAR (CA) E CONVERSÃO CALÓRICA (CC) DE FRANGOS DE CORTE DE 21 A 35 DIAS DE IDADE.....	55
TABELA 3 - EFEITO DA EQUALIZAÇÃO DE CONSUMO E DA PELETIZAÇÃO SOBRE O RENDIMENTO DE CARCAÇA, PEITO E COXA + SOBRECORA E QUANTIDADE DE GORDURA ABDOMINAL (%) DE FRANGOS DE CORTE AOS 35 DIAS DE IDADE.....	56
TABELA 4 - COMPOSIÇÃO DE CARCAÇA (RM, RESÍDUO MINERAL; PB, PROTEÍNA BRUTA; EE, EXTRATO ETÉREO) EM PORCENTAGEM (%) GRAMAS EM RELAÇÃO À CARCAÇA (G) E SOBRE O PESO METABÓLICO (PM, $G^{0,75}$) DE FRANGOS DE CORTE AOS 35 DIAS DE IDADE ALIMENTADOS DE ACORDO COM DIFERENTES PROGRAMAS ALIMENTARES.....	58

TABELA 5 - DEPOSIÇÃO DE PROTEÍNA (PB) E GORDURA (EE) EM GRAMAS DA CARÇAÇA (G) E EM GRAMAS DE PESO METABÓLICO (PM, G ^{0,75}) DE FRANGOS DE CORTE AOS 35 DIAS DE IDADE.....	59
---	----

TABELA 6 - COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDADE ILEAL APARENTE (CDIA) DA MATÉRIA SECA (MS) E DA PROTEÍNA BRUTA (PB) EM FRANGOS DE CORTE AOS 35 DIAS DE IDADE SUBMETIDOS A DIFERENTES PROGRAMAS ALIMENTARES.....	60
--	----

CAPÍTULO II

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO CALCULADA (%) DAS DIETAS EXPERIMENTAIS.....	74
---	----

TABELA 2 - QUANTIDADE DE FINOS, ÍNDICE DE DURABILIDADE DOS PELETES (PDI) E DUREZA DE DIETAS PELETIZADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA.....	77
---	----

TABELA 3 - CONSUMO DE RAÇÃO (CR), GANHO DE PESO (GP), CONVERSÃO ALIMENTAR (CA), CONSUMO ENERGÉTICO (CE) E CONVERSÃO CALÓRICA (CC) DE FRANGOS DE CORTE DE 35 A 47 DIAS DE IDADE ALIMENTADOS COM DIETAS FARELADAS OU PELETIZADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA.....	79
--	----

TABELA 4 - RENDIMENTO DE CARÇAÇA E CORTES (%) DE FRANGOS DE CORTE AOS 47 DIAS DE IDADE ALIMENTADOS COM DIETAS FARELADAS OU PELETIZADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA.....	80
--	----

TABELA 5 - COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDADE ILEAL APARENTE (CDIA; %) DA MATÉRIA SECA (MS), PROTEÍNA BRUTA (PB), AMIDO DISPONÍVEL (AD), AMIDO TOTAL (AT) E DA ENERGIA BRUTA (EB) DE FRANGOS DE CORTE AOS 47 DIAS DE IDADE ALIMENTADOS	
--	--

COM DIETAS FARELADAS OU PELETIZADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA.....	82
---	----

CAPÍTULO III

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO CALCULADA (%) DAS DIETAS.....	95
TABELA 2 - QUANTIDADE DE AMIDO DISPONÍVEL, RESISTENTE E TOTAL (%) DAS DIETAS EXPERIMENTAIS.....	97
TABELA 3 - PARÂMETROS DE QUALIDADE FÍSICA DE DIETAS PELETIZADAS COM DIFERENTES TIPOS DE PROCESSAMENTO DO MILHO.....	98
TABELA 4 - DESEMPENHO DE FRANGOS DE CORTE DE 1 A 35 DIAS ALIMENTADOS COM DIETAS FARELADAS OU PELETIZADAS COM MILHO FARELADO, PELETIZADO OU EXPANDIDO.....	99
TABELA 5 - RENDIMENTO DE CARCAÇA E CORTES E QUANTIDADE DE GORDURA ABDOMINAL (%) DE FRANGOS DE CORTE AOS 35 DIAS ALIMENTADOS COM DIETAS FARELADAS OU PELETIZADAS COM MILHO FARELADO, PELETIZADO OU EXPANDIDO.....	100
TABELA 6 - COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDADE ILEAL APARENTE (CDIA) DAS FRAÇÕES DA DIETA (%) E ENERGIA DIGESTÍVEL ILEAL (KCAL/KG) EM FRANGOS DE CORTE AOS 35 DIAS ALIMENTADOS COM DIETAS FARELADAS OU PELETIZADAS COM MILHO FARELADO, PELETIZADO OU EXPANDIDO.....	101

CAPÍTULO IV

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO ALIMENTAR E NUTRICIONAL DAS DIETAS EXPERIMENTAIS.....	116
---	-----

TABELA 2 - TRATAMENTOS EXPERIMENTAIS COM MILHO FARELADO (F), MILHO PELETIZADO (P) E MILHO EXPANDIDO (E).....	117
TABELA 3 - COMPOSIÇÃO ALIMENTAR E NUTRICIONAL DAS DIETAS EXPERIMENTAIS.....	120
TABELA 4 - TRATAMENTOS EXPERIMENTAIS.....	121
TABELA 5 - CONSUMO DE RAÇÃO (CR), GANHO DE PESO (GP), E CONVERSÃO ALIMENTAR (CA) DE FRANGOS DE CORTE ALIMENTADOS COM DIETAS FARELADAS COM CRESCENTES NÍVEIS DE ENERGIA, CONTENDO MILHO FARELADO, PELETIZADO OU EXPANDIDO.....	122
TABELA 6 - EQUIVALÊNCIA ENERGÉTICA CALCULADA COM CONSUMO DE RAÇÃO (CR) E PELA CONVERSÃO ALIMENTAR (CA) DE FRANGOS DE CORTE DE 22 A 42 DIAS DE IDADE.....	123
TABELA 7 - CONSUMO DE RAÇÃO (CR), GANHO DE PESO (GP), E CONVERSÃO ALIMENTAR (CA) DE FRANGOS DE CORTE ALIMENTADOS COM DIETAS FARELADAS COM CRESCENTES NÍVEIS DE ENERGIA, E DIETA PELETIZADA.....	124
TABELA 8 - EQUIVALÊNCIA ENERGÉTICA CALCULADA COM GANHO DE PESO (GP) E PELA CONVERSÃO ALIMENTAR (CA) DE FRANGOS DE CORTE DE 35 A 47 DIAS DE IDADE.....	125

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

ANOVA - análise de variância

BHT - butil-hidroxitolueno

C=O - grupamento carbonila

CA - conversão alimentar

CAj - conversão alimentar corrigida

CC - conversão calórica

CE - consumo de energia

CDIAD - coeficiente de digestibilidade ileal aparente do amido disponível

CDIAR - coeficiente de digestibilidade ileal aparente do amido resistente

CDIAT - coeficiente de digestibilidade ileal aparente do amido total

CDIAEB - coeficiente de digestibilidade ileal aparente da energia bruta

CDIAMS - coeficiente de digestibilidade ileal aparente da matéria seca

CDIAPB - coeficiente de digestibilidade ileal aparente da proteína bruta

CIA - cinza insolúvel em ácido

Cm - centímetro

cm² - centímetro quadrado

CR - consumo de ração

CV - coeficiente de variação

CV - cavalo de portência

DGM - diâmetro geométrico médio

EB - energia bruta

EE - extrato etéreo

EDI - energia digestível ileal

EM - energia metabolizável

EMn - energia metabolizável corrigida para nitrogênio

EMA - energia metabolizável aparente

EPM - erro padrão da média

FI - fator de indigestibilidade

h - hora

HCl - ácido clorídrico

hp - horse power

HTST - High Temperature and Short Time

g - grama

GP - ganho de peso

kcal - kilocaloria

kg - kilograma

kgf - kilograma força

m - metro

m² - metro quadrado

mbar - milésimo de bar

mcal - megacaloria

mg - miligrama

ml - mililitro

mm - milímetro

MJ - mega joule

MS - matéria seca

NaCl - cloreto de sódio

NH₂ - grupamento amino

P - probabilidade

PB - proteína bruta

PDI - Índice de Durabilidade dos Peletes

PSI - pound force per square inch

PM - peso metabólico

® - marca registrada

R² - coeficiente de determinação

rpm - rotação por minuto

TGI - trato gastrintestinal

Ton - tonelada

UI - unidade internacional

α - alfa

% - porcentagem

°C - graus celcius

μm - micrometro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	21
2. REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 PELETIZAÇÃO DE RAÇÕES.....	22
2.2 TEORIAS QUE JUSTIFICAM OS BENEFÍCIOS DA PELETIZAÇÃO.....	24
2.2.1 Consumo de ração	24
2.2.2 Digestibilidade das frações da dieta	26
2.2.3 Estrutura física	30
2.3 EXPANSÃO DE INGREDIENTES E RAÇÕES	31
2.4 FATORES QUE INFLUENCIAM A QUALIDADE DE PELETES	32
2.4.1 Tamanho de partícula.....	33
2.4.2 Formulação	34
2.4.3 Tratamento térmico	35
2.4.4 Interação dos fatores sobre a qualidade dos peletes	36
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
3. REFERÊNCIAS.....	38

CAPÍTULO I - EFEITO DA PELETIZAÇÃO E DE DIFERENTES PROGRAMAS ALIMENTARES SOBRE O DESEMPENHO, DIGESTIBILIDADE, RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO DE CARCAÇA DE FRANGOS DE CORTE

RESUMO.....

ABSTRACT.....

1. INTRODUÇÃO	48
2. MATERIAL E MÉTODOS	49
2.1 ANIMAIS E INSTALAÇÕES	49
2.2 DIETAS EXPERIMENTAIS E DESEMPENHO ZOOTÉCNICO	49
2.3 DIGESTIBILIDADE.....	53
2.4 RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO DE CARCAÇA.....	54
2.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA	54
3. RESULTADOS.....	55

3.1	DESEMPENHO	55
3.2	RENDIMENTO DE CARCAÇA.....	56
3.3	COMPOSIÇÃO DE CARCAÇA	56
3.4	DIGESTIBILIDADE.....	59
4.	DISCUSSÃO	60
5.	CONCLUSÕES	64
6.	REFERÊNCIAS.....	64

CAPÍTULO II - FORMA FÍSICA E NÍVEIS DE ENERGIA DA DIETA SOBRE O DESEMPENHO, RENDIMENTO DE CARCAÇA E DIGESTIBILIDADE EM FRANGOS DE CORTE

	RESUMO.....	69
--	--------------------	-----------

	ABSTRACT.....	70
--	----------------------	-----------

1.	INTRODUÇÃO	71
2.	MATERIAL E MÉTODOS	72
2.1	COMPOSIÇÃO E FABRICAÇÃO DAS DIETAS	72
2.2	ANIMAIS E INSTALAÇÕES	75
2.3	QUALIDADE FÍSICA	75
2.4	DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E RENDIMENTO DE CARCAÇA	75
2.5	DIGESTIBILIDADE.....	76
2.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	77
3.	RESULTADOS.....	77
3.1	QUALIDADE FÍSICA	77
3.2	DESEMPENHO	77
3.3	RENDIMENTO DE CARCAÇA.....	79
3.4	DIGESTIBILIDADE.....	80
4.	DISCUSSÃO	82
5.	CONCLUSÃO	86
6.	REFERÊNCIAS.....	86

CAPÍTULO III - PROCESSAMENTO TÉRMICO DO MILHO E FORMA FÍSICA DE DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE.....

90

RESUMO	90
ABSTRACT	91
1. INTRODUÇÃO	92
2. MATERIAL E MÉTODOS	93
2.1 ANIMAIS E INSTALAÇÕES	93
2.2 COMPOSIÇÃO E PROCESSAMENTO DAS DIETAS EXPERIMENTAIS	93
2.3 QUALIDADE FÍSICA	96
2.4 DESEMPENHO E RENDIMENTO DE CARCAÇA	96
2.5 DIGESTIBILIDADE	96
2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	98
3. RESULTADOS	98
3.1 QUALIDADE FÍSICA DOS PELETES	98
3.2 DESEMPENHO	99
3.3 RENDIMENTO DE CARCAÇA	100
3.4 DIGESTIBILIDADE	100
4. DISCUSSÃO	101
5. CONCLUSÃO	106
6. REFERÊNCIAS	106

CAPÍTULO IV - EQUIVALÊNCIA ENERGÉTICA DO PROCESSAMENTO TÉRMICO DO MILHO E DA PELETIZAÇÃO DE DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE

RESUMO	112
---------------------	------------

ABSTRACT	113
-----------------------	------------

1. INTRODUÇÃO	114
2. MATERIAL E MÉTODOS	115
2.1 EXPERIMENTO 1	115
2.1.1 Composição e fabricação das dietas	115
2.1.2 Animais e instalações	117
2.1.3 Delineamento e tratamentos	117
2.1.4 Desempenho zootécnico	117
2.1.5 Análise estatística	118

2.2	EXPERIMENTO 2	118
2.2.1	Composição e fabricação das dietas	118
2.2.2	Animais e instalações	121
2.2.3	Delineamento e tratamentos	121
2.2.4	Análise estatística	121
3.	RESULTADOS	122
3.1	EXPERIMENTO 1	122
3.2	EXPERIMENTO 2	123
4.	DISCUSSÃO	125
5.	CONCLUSÕES	127
6.	REFERÊNCIAS	128
	 CAPÍTULO V - CONSIDERAÇÕES FINAIS	 131
	REFERÊNCIAS	136

1. INTRODUÇÃO

A evolução do desempenho de frangos de corte tem sido acentuada nas últimas décadas principalmente devido aos programas de melhoramento genético. O surgimento de linhagens cada vez mais exigentes nutricionalmente gera desafios relacionados ao aproveitamento das rações. Frente à necessidade de melhorar a biodisponibilidade dos ingredientes, favorecer o consumo de ração e otimizar custos de produção, observa-se o enfoque das pesquisas de agroindústrias e instituições no processamento de rações.

O processamento de rações consiste no conjunto de operações necessárias para alterar a estrutura de um ingrediente em seu estado natural, visando obter seu máximo potencial nutricional. Na indústria avícola, o principal processamento térmico utilizado é a peletização.

A peletização promove a aglomeração de ingredientes ou mistura por meio de ação mecânica, em combinação com umidade, pressão e temperatura. Dentre as principais razões que motivam as agroindústrias à peletizar rações destacam-se a redução da segregação de ingredientes, melhor fluxo da ração nos equipamentos, facilidade de manuseio do produto final, e torna possível a redução do custo de formulação por meio da inclusão de ingredientes alternativos e da diminuição da energia da dieta (BEHNKE, 1994; FAIRFIELD, 2003).

Diversos estudos mostram que frangos de corte alimentados com dietas peletizadas, em relação às fareladas, apresentam maior desempenho zootécnico (CORZO et al., 2011; CHEWNING et al., 2012; ABDOLLAHI et al., 2013; MINGBIN et al., 2015; MASSUQUETTO et al., 2017). As principais teorias que justificam este melhor desempenho estão relacionadas ao favorecimento do consumo (JENSEN et al., 1962; MEINERZ et al., 2001), aumento da efetividade calórica em função da maior frequência de descanso das aves (McKINNEY e TEETER, 2004); e melhora na digestibilidade das frações da dieta (MORAN, 1987; ZELENKA, 2003). Entretanto, estudos têm mostrado que o processo de condicionamento/peletização exerce pouco efeito sobre a biodisponibilidade do amido e da proteína (SVIHUS et al., 2004; ZIMONJA et al., 2008; ABDOLLAHI et al., 2011; ROZA et al., 2018). Processamentos mais intensos como a expansão são capazes de promover maiores modificações nas estruturas dos ingredientes (MURAMATSU et al., 2015, 2016).

Independentemente do tipo de processamento utilizado, essa melhor eficiência zootécnica só pode ser atingida se houver a produção de dietas de boa qualidade física, capazes de manter sua integridade até o momento do consumo pelas aves. Diversos fatores podem afetar a qualidade de peletes como: composição nutricional da dieta, granulometria dos ingredientes, temperatura e tempo durante o tratamento térmico, umidade da ração, especificações de equipamentos, entre outros (COLOVIC et al., 2010).

Ainda existem muitas dúvidas sobre a efetividade dos resultados esperados com o processamento térmico, o que se deve a sua complexidade por envolver múltiplos fatores. Frente à necessidade de informações sobre o assunto, este trabalho teve como objetivo tentar elucidar os mecanismos que fazem com que o processamento térmico melhore o desempenho de frangos de corte. Para isso, foram avaliadas dietas com diferentes formas físicas, diferentes programas alimentares, níveis crescentes de energia e inclusão de milho processado termicamente para frangos de corte.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PELETIZAÇÃO DE RAÇÕES

A peletização é o processamento térmico mais utilizado em dietas para frangos de corte a fim de maximizar seu desempenho (DOZIER et al., 2010). Trata-se de uma etapa do processamento de rações no qual os ingredientes ou mistura são aglomerados por meio de ação mecânica, em combinação com umidade, pressão e temperatura. No final do processo, as partículas dos ingredientes são aglomeradas formando estruturas maiores denominadas peletes.

Os parâmetros do processo de condicionamento/peletização podem variar de acordo com os tipos de ingredientes que compõe a dieta, tamanho de partícula dos ingredientes e especificações dos equipamentos como condicionador, cilindro e matriz (PAYNE et al., 1998). Um amplo range de temperatura e umidade pode ser empregado durante o condicionamento, variando comumente de 60 a 100°C e 12 a 18% de umidade (HANCOCK, 1992).

Alguns benefícios da peletização incluem a redução da segregação de ingredientes, facilidade de manuseio, melhor fluxo da ração nos equipamentos, diminuição de microrganismos patogênicos (BEHNKE, 1994; FAIRFIELD, 2003) e torna possível a redução do custo de formulação por meio da diminuição da energia da dieta (SKINNER et al., 1992; LECZNIESKI et al., 2001).

Está bem estabelecido que frangos de corte alimentados com dietas peletizadas apresentam melhor desempenho em relação a dietas fareladas (CORZO et al., 2011; CHEWNING et al., 2012; ABDOLLAHI et al., 2013; MINGBIN et al., 2015; MASSUQUETTO et al., 2017). Os benefícios da peletização podem ser atribuídos a diversos fatores, destacando-se o aumento de consumo (CALET 1965; MEINERZ et al., 2001; SVIHUS, 2004), em função da maior facilidade de apreensão das partículas dos ingredientes quando aglomeradas no formato de peletes (JENSEN et al., 1962); aumento da efetividade calórica devido a maior frequência de descanso das aves (McKINNEY e TEETER, 2004); e maior digestibilidade das frações da dieta pela ação mecânica, umidade e temperatura empregados no processo (MORAN, 1987; BEHNKE, 1994; ZELENKA, 2003). Porém, para que os benefícios possam ser atingidos, é necessária a fabricação de peletes duráveis, capazes de se manter íntegros até o momento do fornecimento no comedouro.

Apesar dos benefícios gerados pela peletização, ele representa a maioria dos custos operacionais e o maior consumo de energia elétrica (BIAGI, 1990). Peletizar rações torna o processo produtivo mais complexo e pode influenciar o rendimento da fábrica de rações, principalmente se esta não for bem planejada e dimensionada, e trabalhar numa margem de produção acima de sua capacidade, o que acontece na maioria das agroindústrias avícolas brasileiras (MEINERZ et al., 2001). Em contrapartida, o custo do processo é baixo em relação ao custo de formulação. Diversas empresas e universidades desenvolveram trabalhos de pesquisa e encontraram boa relação custo/benefício e bons resultados a campo, justificando a implantação do processo.

O processo de condicionamento/peletização pode reduzir os níveis de vitaminas, especialmente se as dietas não contiverem adequada quantidade de antioxidante para prevenir a oxidação acelerada na presença de alta umidade e temperatura, ou se as vitaminas não forem fabricadas com proteção encapsulada

para peletização (ENSMINGER, 1985). Além disso, dependendo da intensidade do processo, a peletização pode promover alterações indesejáveis na estrutura dos ingredientes utilizados, como reações de complexação entre proteínas e carboidratos (CRESWELL e BEDFORD, 2006), formação de amido resistente (VORAGEN et al., 1995; ABDOLLAHI et al., 2010) e redução da estabilidade de enzimas adicionadas na dieta (CAMPBELL e BEDFORD, 1992).

2.2 TEORIAS QUE JUSTIFICAM OS BENEFÍCIOS DA PELETIZAÇÃO

2.2.1 Consumo de ração

Existem diversas justificativas para a implantação do processo de peletização de dietas para frangos de corte, porém o aumento de consumo é um dos mais importantes, uma vez que é o fator que mais impacta no ganho de peso corporal (MOREL et al., 2001). Teeter e Smith (1985) afirmam que o CR está correlacionado ($R^2 = 0,87$) a taxa de crescimento, no qual, ao avaliar restrição de 75% do CR em relação ao controle *ad libitum*, observaram redução no GP. Meinerz et al. (2001) trabalharam com oferta alimentar equalizada para frangos de corte de 21 a 42 dias de idade, no qual a quantidade ofertada de ração peletizada foi baseada no consumo de ração farelada, e observaram que as respostas de desempenho são muito similares quando há imposição de restrição alimentar e os consumos são semelhantes. Os autores concluem que o principal efeito da peletização é proporcionar maior consumo de ração pela maior facilidade de apreensão de ração peletizada pelas aves. O aumento do consumo pode ser bastante expressivo conforme demonstrado em diversos trabalhos (tabela 1). Abdollahi et al. (2013) reportaram aumento de 27% no CR com dietas peletizadas.

Tabela 1. Efeito da peletização sobre o consumo de ração em frangos de corte.

Dieta	Consumo de ração (g)	Fase de criação (dias)	Diferença de consumo (%)	Referência
Farelada	4452 ^b	1-42	7,52	¹ LÓPEZ et al. (2007)
Peletizada	4787 ^a			
Farelada	5303 ^b	1-45	3,71	¹ LARA et al. (2008)
Peletizada	5500 ^a			
Farelada	1150 ^b	1-21	13,74	² ABDOLLAHI et al. (2011)
Peletizada	1308 ^a			
Farelada	4964 ^b	1-45	8,22	² CHEWNING et al. (2012)
Peletizada	5372 ^a			
Farelada	1024 ^b	1-21	27,25	² ABDOLLAHI et al. (2013)
Peletizada	1303 ^a			
Farelada	3988 ^b	1-40	5,92	³ MINGBIN et al. (2015)
Peletizada/triturada	4224 ^a			
Farelada	463 ^b	18-22	15,33	⁴ ROZA et al. (2018)
Peletizada	534 ^a			

¹ Médias na mesma coluna, seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de significância.

² Médias na mesma coluna seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste LSD (Least Significant Difference) a 5% de significância.

³ Médias na mesma coluna seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância.

⁴ Médias na mesma coluna seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de F a 5% de significância.

O maior consumo de dietas peletizadas pode ocorrer devido a maior facilidade de apreensão da dieta (JENSEN et al., 1962), uma vez que partículas menores são aglomeradas em partículas maiores. O tamanho de partícula tem grande importância na regulação do consumo em aves, que apresentam maior preferência por partículas maiores em detrimento das menores (SCHIFFMAN, 1969; MORAN, 1982; NIR et al., 1994; NIR e PTICHI, 2001). O controle da apreensão do alimento é feito por meio de um arranjo complexo de mecanorreceptores localizados nas mandíbulas superior e inferior do bico (GENTLE e BREWARD, 1986). À medida que a idade das aves aumenta o tamanho de partícula preferido também aumenta (NIR et al., 1994), possivelmente porque existe correlação direta entre o tamanho da partícula e o tamanho do bico. A modificação da forma física por meio da peletização permite o fornecimento de dietas com partículas de tamanho desejado e uniformes reduzindo a apreensão seletiva do alimento (NIR et al., 1994) e favorecendo o consumo de ração.

A baixa produção de saliva em aves também pode ser um fator capaz de limitar o consumo. Segundo TURK (1982), a saliva das aves é bastante viscosa e produzida em pequena quantidade, cerca de 7 a 30 ml por dia. O consumo de dietas fareladas, especialmente se as partículas forem muito pequenas, pode resultar na formação de um composto pastoso. Assim, dietas peletizadas podem evitar a formação deste composto, facilitando o consumo.

2.2.2 Digestibilidade das frações da dieta

Amido

O amido é um homopolissacarídeo composto por duas macromoléculas principais: a amilose e a amilopectina. A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas $\alpha(1\rightarrow4)$, originando uma cadeia linear. Já a amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em $\alpha(1\rightarrow4)$ e $\alpha(1\rightarrow6)$, constituindo uma estrutura ramificada (WANG e WHITE, 1994). A parte linear das moléculas de amilopectina forma estruturas helicoidais duplas, estabilizadas por pontes de hidrogênio entre os grupamentos hidroxila, dando origem às regiões cristalinas dos grânulos. A região amorfa é composta pelas cadeias de amilose e pelas ramificações da amilopectina (VAN SOEST et al., 1996), e é nesta última porção no qual se inicia o processo de gelatinização devido a menor organização de sua estrutura (LUND e LORENZ, 1984).

A gelatinização pode ser definida como a destruição irreversível da condição cristalina do grânulo de amido, de modo que a superfície da molécula se torne acessível a reagentes, solventes e enzimas (LUND e LORENZ, 1984; MORITZ et al., 2005). De acordo com HOLM e BJÖRCK (1988), a gelatinização do amido dos cereais melhora o acesso enzimático a ligações glicosídicas devido à interrupção da organização dos grânulos de amido, fator que pode aumentar sua digestibilidade.

Durante o processo de condicionamento e peletização, a umidade absorvida pelos ingredientes, ajuda a romper as células que contém amido (SKOCH et al., 1981; MORITZ et al., 2002; SVIHUS et al., 2004). Entretanto, a melhoria na utilização do amido é dependente principalmente dos tipos de processamento térmico. De acordo com SVIHUS et al. (2005), a peletização exerce pouco efeito

sobre a disponibilidade de amido, enquanto que processamentos mais intensos como a extrusão, no qual mais água é adicionada e a temperatura é mais elevada, promovem gelatinização mais completa. Diversos trabalhos tem mostrado que apenas pequena quantidade do amido é gelatinizado durante a peletização (SKOCH, 1981; MORITZ et al., 2002; MORITZ et al., 2003; SVIHUS et al., 2004) e o efeito sobre a digestibilidade do amido parece ter pequena importância (ZIMONJA et al., 2008). ABDOLLAHI et al. (2011) avaliaram a digestibilidade ileal do amido em frangos de corte alimentados com dietas fareladas ou peletizadas a base de trigo e não observaram diferença. No entanto, quando compararam diferentes temperaturas de peletização, observaram aumento do coeficiente de digestibilidade do amido para dietas peletizadas entre 60 e 90°C em relação às peletizadas sem condicionamento térmico (20°C na saída da prensa). Trabalhando com tempos crescentes de condicionamento na peletização (0, 60, 80, 100 e 120 s), Massuquetto et al. (2017) também não observaram diferença na digestibilidade do amido.

O amido pode ser classificado de acordo com a suscetibilidade à hidrólise enzimática. Segundo ENGLYST et al. (1992), de acordo com a velocidade de digestão *in vitro*, o amido divide-se em: rapidamente digerível, quando o amido é hidrolisado à glicose em até 20 minutos; lentamente digerível, se o amido for convertido em glicose entre 20 e 120 minutos; e amido resistente, que resiste à ação das enzimas digestivas. O amido resistente pode ser definido como a soma do amido e produtos da sua degradação, não absorvidos no intestino delgado de indivíduos saudáveis. O amido resistente também pode ser formado por recristalização de amilose solubilizada (VORAGEN et al., 1995). Por sua vez, o amido resistente pode ser classificado em amido fisicamente inacessível (tipo 1), grânulos de amido resistente (tipo 2), e amido retrogradado (tipo 3; ENGLYST et al., 1992). O amido resistente pode ser produzido a partir do tratamento térmico dos ingredientes, quando o amido é resfriado após a gelatinização.

As melhorias na digestibilidade do amido proporcionadas pelo processo de gelatinização podem ser prejudicadas se grande quantidade de amido retrogradado se formar. Após o processo de resfriamento, quando a temperatura é reduzida (próxima da temperatura ambiente), ocorre rearranjo das moléculas de amido, separadas durante o processo de gelatinização, favorecendo a recristalização,

processo conhecido como retrogradação (PARKER e RING, 2001). Abdollahi et al. (2010) avaliaram a influência de diferentes temperaturas de condicionamento (60, 75 e 90°C) e observaram aumento na gelatinização do amido com o aumento da temperatura, porém, houve maior formação de amido resistente.

Proteína

As proteínas possuem estruturas espaciais complexas que podem ser organizadas em quatro níveis: a) primária: sequência de aminoácidos na cadeia polipeptídica, b) secundária: proporcionada por pontes de hidrogênio entre os radicais grupamentos amina e carboxila, entre aminoácidos adjacentes, c) terciária: descreve a forma tridimensional final de uma cadeia polipeptídica, resultado da associação de partes organizadas da molécula e d) quaternária: composta de mais de uma cadeia polipeptídica, que podem estar associadas por pontes dissulfeto (NELSON e COX, 2011).

A ação da temperatura durante a peletização promove a desnaturação das proteínas existentes nos ingredientes. A desnaturação proteica refere-se às alterações físicas sofridas pelas proteínas, causando rompimento das estruturas secundária, terciária e quaternária que auxiliam a estabilização e conformação da molécula; altera sua estrutura espacial e forma arranjos mais desordenados por meio de ligações intramoleculares. As proteínas desnaturadas, geralmente, perdem parcialmente a solubilidade e a atividade biológica natural. A estrutura primária não sofre efeito de agentes desnaturantes, portanto as ligações peptídicas não são afetadas (ARAÚJO et al. 2009).

Do ponto de vista nutricional, a desnaturação parcial melhora a digestibilidade das proteínas devido à alteração na sua estrutura, permitindo que as proteases atuem mais facilmente (DOZIER, 2001). SCOTT et al. (1997) afirmam que o aumento na digestibilidade da proteína para frangos de corte ocorre provavelmente devido às rações peletizadas serem submetidas à alta temperatura e pressão em seu processo, resultando em rompimento das pontes dissulfeto na estrutura da proteína, causando desnaturação e aumento da eficiência das enzimas endógenas. O efeito da peletização sobre a digestibilidade da proteína foi reportado em pesquisas e os resultados foram bastante divergentes devido aos diferentes

parâmetros de condicionamento utilizados. Roza et al. (2018) não observaram diferença na digestibilidade dos aminoácidos em frangos alimentados com dietas fareladas ou peletizadas. Já Massuquetto et al. (2017) reportaram aumento na digestibilidade da proteína em dietas peletizadas, porém somente em dietas com mais de 80 segundos de condicionamento térmico. De forma semelhante, Abdollahi et al. (2011) observaram maior coeficiente de digestibilidade do nitrogênio com temperaturas de 60 e 75°C em comparação a fareladas, peletizadas a frio (20°C) e a 90°C, mostrando que tanto o sub quanto o superaquecimento podem ter efeitos negativos.

Processamentos térmicos muito intensos podem ocasionar reações indesejáveis entre os componentes dos alimentos, tornando-os menos digestíveis. O excesso de temperatura no processo pode resultar em escurecimento não enzimático dos alimentos, principalmente a reação de Maillard e de caramelização (BRIÃO et al., 2011; ARAÚJO et al., 2009). Estas reações podem promover o bloqueio ou a redução da biodisponibilidade de aminoácidos essenciais e da atividade de enzimas (BOEKEL, 1998).

A reação de "Maillard" ocorre entre um grupamento carbonila ($C=O$) de carboidratos redutores e o grupamento amino (NH_2) do aminoácido, em meio preferencialmente alcalino, na presença de água e temperatura. Após várias etapas, ocorre à produção de melanoidinas, responsáveis pela coloração marrom. Já a caramelização, é uma reação de escurecimento não enzimático que ocorre em sistemas que contém carboidratos redutores por mecanismos diferentes da reação de Maillard, na ausência de aminoácidos ou proteínas. A reação de caramelização necessita de maior energia de ativação, de modo que condições extremas de temperatura (maior que 120°C) e pH ($pH < 3$ ou $pH > 9$) precisam ser aplicadas (BOEKEL, 1998; VORAGEN et al., 1995). CRESWELL e BEDFORD (2006) sugerem que temperaturas de peletização acima de 85°C não devem ser empregadas a fim de evitar a formação de complexos entre proteínas e carboidratos, além de outras perdas nutricionais.

2.2.3 Estrutura física

A peletização pode alterar a necessidade dos nutrientes porque os frangos gastam menos tempo comendo e mais tempo descansando (JENSEN, 1962; ZATARI et al., 1990; McKINNEY e TEETER, 2004). Mckinney e Teeter (2004) avaliando rações contendo diferentes proporções de peletes íntegros e finos (100% peletizada, 80% peletizada, 60% peletizada, 40% peletizada, 20% peletizada, e farelada) para frangos de corte, constataram aumento na efetividade calórica e frequência de descanso, pois as aves gastam menos tempo para consumir a ração peletizada (peletes íntegros). Os autores atribuíram o valor de 187 kcal EMn/kg de ração poupada em função do processo de peletização (100% de peletes fornecidos), observando que as aves apresentaram maior ganho final, ganho de gordura, ganho de tecido magro e ganho de energia líquida. Estudando a partição de EM, Latshaw e Moritz (2009) observaram que dietas peletizadas aumentam o ganho de energia na carcaça e diminuem o incremento calórico. De forma semelhante, Corzo et al. (2011) verificaram que aves alimentadas com dieta farelada apresentaram menor consumo de ração e peso corporal; e maior conversão alimentar quando comparadas às aves que consumiram as dietas contendo 32 e 64% de peletes íntegros.

O efeito de forma física pode interferir na digestibilidade das frações da dieta. Quanto maior a proporção de peletes intactos maior é o consumo e, conseqüentemente, pode haver redução na digestibilidade. Isso ocorre porque a quantidade de alimento na moela e intestino está associada ao fluxo da digesta (SUNDU et al., 2008). Por sua vez, a digestão e absorção de nutrientes podem ser afetadas pela velocidade de passagem ao longo do TGI (DUKE, 1986). Scott e Silversides (2003) mostraram que a restrição alimentar diminui a velocidade de passagem da digesta o suficiente para aumentar a digestibilidade. O maior consumo proporcionado pela modificação da forma física pela peletização pode aumentar a velocidade de passagem da digesta no TGI reduzindo o tempo de exposição à ação de enzimas e à absorção dos nutrientes na mucosa intestinal. Estudos mostram correlação negativa entre o CR e o valor de EMA (SVIHUS, 2006), bem como entre a digestibilidade do amido (SVIHUS, 2011, figura 1). Neste estudo, o autor sugere

que o consumo elevado de ração pode levar a uma taxa de passagem excessivamente rápida, reduzindo a digestibilidade do amido.

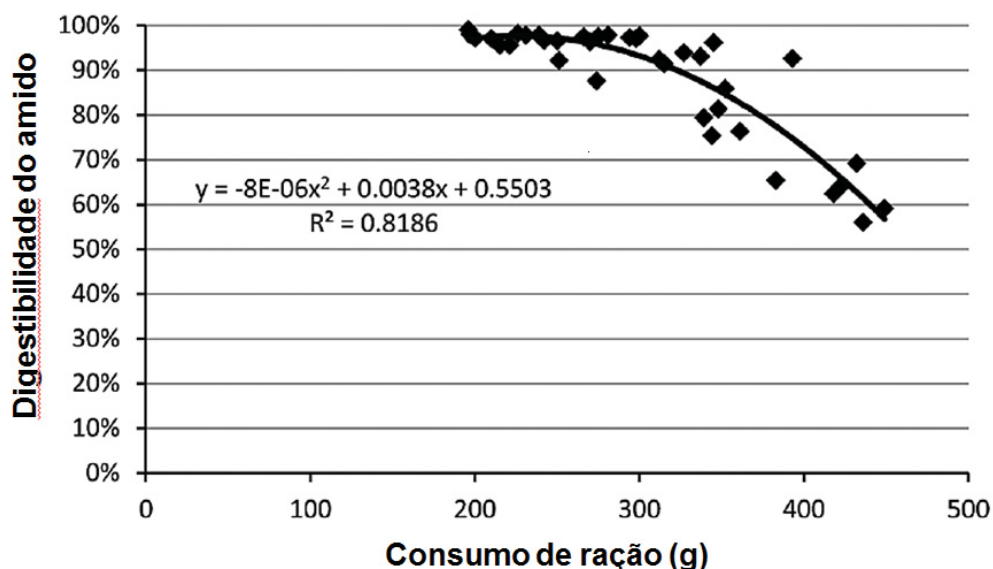


Figura 1. Relação entre consumo de ração e digestibilidade do amido em frangos de corte alimentados com dietas à base de trigo (Adaptado de SVIHUS, 2011).

2.3 EXPANSÃO DE INGREDIENTES E RAÇÕES

A expansão é um processo de alta temperatura e curto tempo (high-temperature and short-time, HTST) que é utilizado principalmente anterior a peletização para intensificar o processo de condicionamento. O processo HTST é criado pela transferência de energia mecânica para energia térmica, o que permite alcançar temperaturas altas, acima de 120°C, e a pressão superior a 1200 PSI (FANCHER et al., 1996). De acordo com estes autores, no expander tipo “annular gap”, a ração é forçada por uma rosca a fluir por um cilindro oco que possui um cone controlado hidraulicamente que impede parcialmente a ração de sair, criando uma intensa força de atrito e pressão que resulta na produção de calor.

A intensificação do processamento térmico com o uso do expander pode melhorar a gelatinização do amido, plastificação das proteínas e, conseqüentemente, melhorar a digestibilidade dessas frações. Kokić et al. (2013), avaliando diferentes tipos de processamento do milho, observaram menores graus de gelatinização do amido para floculação (21,3%) e peletização (25,5%), ao passo

que processamentos mais intensos como micronização e extrusão resultaram em maiores graus de gelatinização, 63,6 % e 100% respectivamente. De forma semelhante, Muramatsu et al. (2014) observaram aumento de 32 para 35% na gelatinização do amido de dietas para frangos de corte peletizadas ou expandidas/peletizadas, respectivamente. Zimonja et al. (2007) também observaram maior digestibilidade do amido em frangos alimentados com dietas expandidas em relação à peletizadas. Entretanto, conforme discutido anteriormente, as altas temperaturas empregadas durante o processamento podem aumentar a quantidade de amido resistente (ABDOLLAHI et al., 2011) e isso também pode ocorrer após a expansão.

A expansão pode intensificar o rompimento das pontes dissulfeto na estrutura das proteínas, causando desnaturação e podendo acarretar em maior digestibilidade. López et al. (2007) avaliaram o efeito de três tipos de processamento (farelada, peletizada e expandida/peletizada) e obtiveram coeficientes de metabolização da proteína bruta de 62,77; 63,79 e 64,36%, respectivamente. Entretanto, se a temperatura for muito alta, por longo tempo de exposição, pode haver redução na digestibilidade da proteína e aminoácidos. Willians et al. (1997) observaram menor digestibilidade da proteína, metionina e lisina em frangos alimentados com dieta expandida em relação à farelada.

2.4 FATORES QUE INFLUENCIAM A QUALIDADE DE PELETES

A qualidade física do pelete pode ser definida como a capacidade do pelete de resistir à fragmentação e à abrasão durante o seu manuseio (armazenamento e transporte), sem quebrar-se e alcançar os alimentadores sem gerar alta proporção de finos (AMERAH et al., 2007).

O Índice de Durabilidade dos Peletes (PDI) é um dos principais parâmetros utilizados para se medir a qualidade dos peletes, pois reflete a percentagem de peletes que mantém a sua integridade após serem submetidos às forças mecânicas. Peletes de baixa durabilidade não resistem às forças de atrito, impacto e pressão existentes ao longo dos processos de armazenamento, transporte e expedição da fábrica de ração até a granja (LOWE, 2005; MINA-BOAC et al., 2006). Diversos

fatores podem afetar a qualidade de peletes: composição nutricional da ração, granulometria dos ingredientes, temperatura e tempo de condicionamento, umidade da ração, taxa de compressão da matriz da prensa, distância entre o rolo e a matriz da prensa, entre outros (COLOVIC et al., 2010). Além disso, é possível que haja interação entre esses fatores, tornando muitas vezes o ajuste dos parâmetros do processo para obter peletes íntegros bastante complexo.

2.4.1 Tamanho de partícula

A redução da granulometria pode resultar em aumento da área superficial em relação ao volume da partícula, o que leva a maior número de pontos de contato entre as partículas dos ingredientes. Como consequência, há aumento nas forças de adesão interatômicas (forças de Van der Waals, dipolo-dipolo, pontes de hidrogênio), aumento da força de capilaridade entre as fases sólido-líquido do pelete e penetração de calor e umidade até o centro da partícula do ingrediente com menor tempo de tratamento térmico (CALIFORNIA PELLET MILL CO., 2012; BEHNKE, 2005).

Há um contrassenso entre a redução do diâmetro geométrico médio (DGM) visando qualidade dos peletes e o fornecimento de dietas com o DGM recomendado para frangos de corte visando melhor aproveitamento dos ingredientes no TGI. Isso ocorre porque partículas de maior tamanho (entre 800 e 1300 μm , dependendo da fase de criação e composição da dieta), podem aumentar o desenvolvimento dos órgãos e favorecer o retroperistaltismo no TGI, melhorando a digestibilidade das frações (NIR et al., 1995; JACOBS et al., 2010; PACHECO et al., 2013). Porém, este range de tamanho de partícula pode não ser o ideal quando se tem por objetivo melhorar a qualidade física dos peletes. DOZIER (2001) afirma que em dietas a base de milho e farelo de soja, o DGM ideal para durabilidade de peletes deve ser em torno de 650 a 700 μm . Além disso, deve-se evitar partículas maiores que 1000 a 1500 μm que podem servir de pontos de rupturas do pelete (FRANKE e REY, 2006; MENDEZ e SANTOMA, 2008).

Entretanto, ainda há controvérsia sobre o benefício da intensa redução do tamanho de partícula dos ingredientes na qualidade dos peletes. Amerah et al. (2007) compilaram informações de trabalhos avaliando o DGM sobre a qualidade

dos peletes (tabela 2). Os trabalhos demonstram que existe efeito do tamanho de partícula sobre a qualidade física, porém dependendo do cereal base e do grau de redução da granulometria. Stevens (1987) não encontrou diferença ($P < 0,05$) no PDI de dietas peletizadas, quando o tamanho de partícula do milho e de trigo foi reduzido de 1023 para 551 μm e 802 para 365 μm , respectivamente. No entanto, WONDRA et al. (1995) relataram aumento de 78,8 para 86,4% no PDI com a redução do tamanho de partícula de 1000 para 400 μm .

Tabela 2. Efeito do tamanho de partículas sobre a durabilidade dos peletes.

Grão	DGM (μm)	PDI	Referência
Milho	910	91,0 ^a	Reece et al., 1986
	1024	91,0 ^a	
Milho	679	91,0 ^b	Reece et al., 1986
	987	91,3 ^b	
	1289	92,5 ^a	
Trigo	600	88,0 ^a	Svihus et al., 2004
	930	81,2 ^a	
	1700	80,2 ^a	
Trigo	380	25,0 ^a	Peron et al., 2005
	955	25,0 ^a	

Adaptado de Amerah et al. (2007)

2.4.2 Formulação

As formulações de rações apresentam múltiplas possibilidades de combinação de ingredientes, o que exige ajustes dos parâmetros do processo de peletização. Segundo Klein (2009), os diferentes tratamentos das matérias-primas que compõe a ração têm sua origem no seu comportamento ao sofrer ação da umidade, pressão e calor durante seu processamento. Além dos aspectos individuais dos ingredientes, podem-se destacar ainda alguns fatores decisivos que se constituem por meio da formulação (teor de gordura, teor de proteína, teor de minerais, dentre outros) e que são determinantes no processo da peletização.

Os principais ingredientes que reduzem a qualidade dos peletes são gorduras e óleos (BRIGGS et al., 1999; FAHRENHOLZ, 2012). A gordura lubrifica a parede dos furos da matriz facilitando a passagem da ração pela matriz e diminuindo

a compactação da ração dentro da prensa, podendo resultar em peletes frágeis (FAHRENHOLZ, 2012). Além disso, a adição de gordura na ração previamente ao condicionamento leva a um encapsulamento parcial das partículas da ração dificultando a penetração do vapor e umidade e, portanto, reduzindo a gelatinização do amido e as forças capilares de adesão (LOWE, 2005; FAHRENHOLZ, 2012).

Os valores máximos de inclusão de gordura na ração, visando boa qualidade física dos peletes, são divergentes. Se o objetivo for alto percentual de peletes íntegros, Leaver (2008) sugere que a adição de gordura deve ser limitada ao máximo de 1% na ração a ser peletizada. Já no estudo de Briggs et al. (1999), o limite máximo de inclusão de óleo sem comprometer a qualidade dos peletes foi de 5,6%. Moritz et al. (2002) avaliaram dois níveis de adição de óleo (3 e 6,5%) em rações para frangos de corte e observaram que o PDI reduziu de 81,6 para 62,1% com o aumento da gordura adicionada.

Visando reduzir os efeitos negativos da adição de gordura sobre a qualidade dos peletes, a aplicação de óleo pós-peletização tem sido cada vez mais utilizada pelas indústrias. Natel (2014) avaliou diferentes níveis de inclusão de óleo por aspersão pós-peletização sobre o PDI. Os níveis de óleo total não diferiram entre os tratamentos (3,5%), mas diferiram de acordo com a forma de aplicação: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 e 3,5% de óleo na mistura; e entre 0 % e 2,5 % com aspersão pós-peletização para completar o total de 3,5% de óleo total na ração. O autor observou o nível ótimo de PDI com aspersão de 2,33% de óleo pós-peletização, portanto com máximo de 1,17% de inclusão de óleo na mistura. Em contrapartida, houve queda linear na produtividade (ton/hora) de ração em função da baixa de lubrificação nos furos da matriz da peletizadora.

2.4.3 Tratamento térmico

O vapor utilizado durante o condicionamento rompe a estrutura do amido e causa sua gelatinização, assim como a alteração das estruturas terciárias das proteínas. Segundo Behnke (1994), a gelatinização do amido combinada a plastificação das proteínas é importante para a formação de ligações entre as partículas, portanto, necessária para a formação de peletes duráveis. Lund e Lorenz

(1984) afirmam que quando o amido gelatinizado esfria, a matriz do grânulo que está dispersa forma um gel que pode atuar como um adesivo ou ligante.

O ajuste dos parâmetros como tempo e temperatura de condicionamento é importante para obter peletes de boa qualidade física. Teixeira Netto (2014) observou que o aumento crescente da temperatura de condicionamento (50, 60, 70, 80 e 90°C) resulta em aumento linear no PDI. De forma semelhante, Abdollahi et al. (2010) observaram que o aumento da temperatura de 75 para 90°C resulta em melhora no PDI independente da composição da dieta (milho ou sorgo). Avaliando diferentes tempos de retenção no condicionador, Briggs et al. (1999) observaram que aumentando-se o tempo de retenção (5 para 15 segundos) aumenta-se a durabilidade do pelete em 4,5 pontos percentuais. Massuquetto et al. (2017) observaram o melhor valor de PDI com 89 segundos de condicionamento.

O condicionamento seguido de expansão leva a uma melhor qualidade dos peletes quando comparado ao condicionamento simples (THOMAS et al., 1999). Muramatsu et al. (2013) reportaram que a combinação da expansão ao condicionamento-peletização melhorou o PDI em 69% e reduziu 200g/kg a quantidade de finos em comparação ao condicionamento simples.

2.4.4 Interação dos fatores sobre a qualidade dos peletes

Todos os fatores que exercem influência sobre a qualidade dos peletes são importantes e podem agir individualmente ou combinados. Portanto, deve-se conhecê-los para entender qual a participação de cada fator sobre a qualidade de dietas peletizadas.

Reimer et al. (1992) propuseram a seguinte divisão dos fatores considerando sua importância sobre a durabilidade do pelete: 5% devido ao processo de resfriamento/secagem, 15% relacionados as especificações da matriz da prensa, 20% ligados ao condicionamento térmico, 20% relacionados ao tamanho de partícula de ingredientes e 40% atribuídos a formulação da ração. Já Muramatsu et al. (2015) avaliaram o efeito das interações entre diferentes fatores sobre o PDI de dietas à base de milho e farelo de soja, incluindo o tamanho da partícula (743 e 1041 micra), processamento térmico (condicionamento-peletização ou condicionamento-expansão-peletização), adição de umidade (0, 7, 14 e 21 g/kg de ração) e inclusão

de gordura (15, 25, 35 e 45 g/kg de ração). Quando o efeito de todos os fatores modelados foi avaliado, o processamento térmico foi o fator de maior participação, respondendo por 44% da variabilidade observada para PDI (figura 2). Verificou-se que, nas condições deste estudo, a alternativa mais eficiente para melhorar a qualidade de peletes foi à expansão das dietas após o condicionamento, seguida em ordem decrescente de contribuição pelo aumento nos níveis de adição de umidade, pelas restrições na inclusão de gordura e finalmente pela redução no tamanho de partícula. O fato das dietas avaliadas por esses autores terem sido à base de milho e farelo de soja foi determinante para que o tratamento térmico tenha essa porcentagem de importância sobre o PDI. Dependendo da composição da dieta, com cereais de inverno, como no estudo de Reimer (1992), por exemplo, a formulação pode apresentar um peso maior sobre a qualidade física, mostrando que o processo de obtenção de dietas com alto PDI é multifatorial e depende de cada situação encontrada na fábrica de rações.

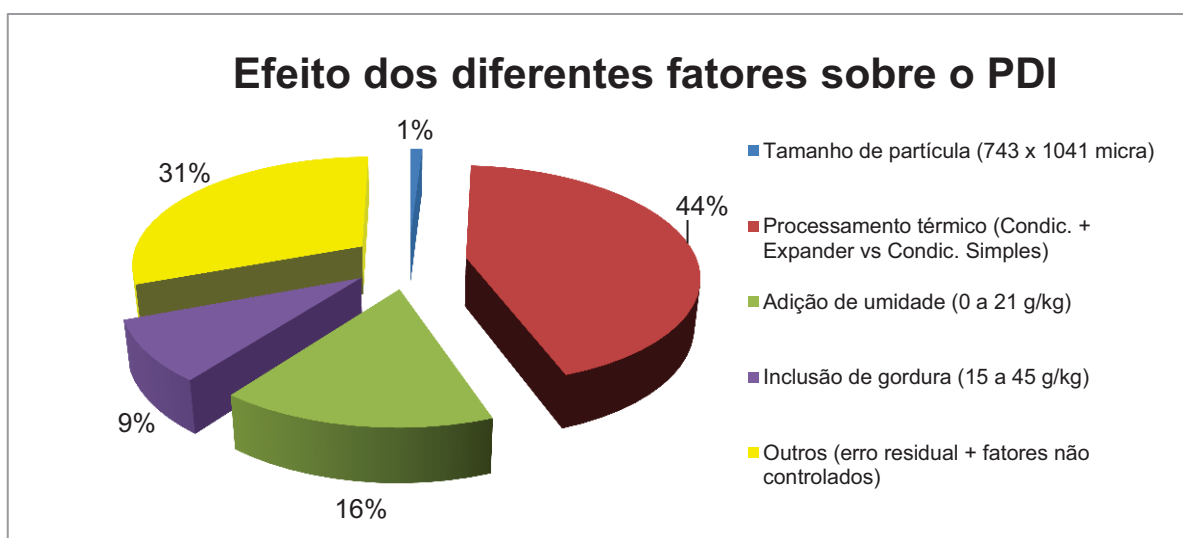


Figura 2. Fatores influenciando a variabilidade do Índice de Durabilidade dos Peletes (PDI). Adaptado de Muramatsu et al. (2015).

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A peletização de rações modifica a forma física da ração, pode melhorar o desempenho zootécnico e digestibilidade de diferentes frações da dieta em frangos de corte. Entretanto, o uso de tecnologias como o expander, pode intensificar o

processamento térmico e aumentar o aproveitamento dos nutrientes bem como a qualidade física dos peletes.

A qualidade dos peletes produzidos é crucial para que os objetivos da peletização sejam atingidos. Estratégias envolvendo modificações na formulação de rações, granulometria dos ingredientes, ajustes nos parâmetros de condicionamento, entre outros, podem ser implementadas para melhorar a qualidade dos peletes.

O processamento térmico de rações é bastante complexo, pois pequenas alterações nos parâmetros do processo podem modificar as características físicas e químicas dos ingredientes utilizados.

3. REFERÊNCIAS

ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; SVIHUS, B. Influence of grain type and feed form on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of nitrogen, starch, fat, calcium and phosphorus in broiler starters. **Animal Feed Science and Technology**, v.186, p.193-203, 2013.

ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; WESTER, T. J.; RAVINDRAN, G.; THOMAS, D. V. Influence of feed form and conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broiler starters fed wheat-based diet. **Animal Feed Science and Technology**, v.168, p.88-99, 2011.

ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; WESTER, T. J.; RAVINDRAN, G.; THOMAS, D. V. Influence of conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy, ileal digestibility of starch and nitrogen and the quality of pellets, in broiler starters fed-maize and sorghum-based diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.162, p.106–115, 2010.

AMERAH, A. M.; RAVINDRAN, V.; LENTLE, R. G. Feed particle size: Implications on the digestion and performance in poultry. **Worlds Poultry Science**. v.63, p.439–451, 2007.

ARAÚJO, W. M. C.; MONTEBELLO, N. P.; BOTELHO, R. B. A.; BORGIO, L. A. **Alquimia dos alimentos**. Brasília, Editora Senac, 2009, 560p.

BEHNKE, K. C. The Art (Science) of Pelleting. **American Soybean Association**. May 23 - June 10. 2005.

BEHNKE, K. Factors affecting pellet quality. In: **Proceedings Maryland Nutrition Conference**, College of Agriculture, University of Maryland. p.44-54, 1994.

BIAGI, J. D. Tecnologia da peletização da ração. In: Simpósio do colégio brasileiro de nutrição animal, 1990, Campinas. **Anais...** Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, p.37-59, 1990.

BOEKEL, M. A. J. S. Van. Effect of heating on Maillard reactions in milk. **Food Chemistry**, v. 62, p. 403-414, 1998.

BRIÃO, V. B.; FOLLMER, L.; SOUZA, M.; RODRIGUES, V. M. Cinética do escurecimento não-enzimático com soluções modelo de açúcares e aminoácidos em pH neutro e ácido. **Acta Scientiarum Technology**, v.33, p.87-93, 2011.

BRIGGS, J. L.; MAIER, D. E.; WATKINS, B. A.; BEHNKE, K. C. Effect of Ingredients and Processing Parameters on Pellet Quality. **Poultry Science**, v.78, p.1464–1471, 1999.

CALIFORNIA PELLET MILL CO. The pelleting process. (2012) Disponível em: <<http://ww1.prweb.com/prfiles/2012/01/09/9090113/Animal%20Feed%20Pelleting.PDF>> Acesso em: 10/01/2018.

CALET, C. The relative value of pellets versus mash and grain in poultry nutrition. **World Poultry Science Journal**, v.21, p.23-52, 1965.

CAMPBELL, G. L.; BEDFORD, M. R. Enzyme applications for monogastric feeds: A review. **Canadian Journal of Animal Science**, v.72, p.449-466, 1992.

CHEWNING, C. G.; STARK, C. R.; BRAKE, J. Effects of particle size and feed form on broiler performance. **J.Appl.Poult.Res.**, v.21, p.830–7, 2012.

COLOVIC, R.; VUKMIROVIC, D.; MATULAITIS, R.; BLIZNIKAS, S.; UCHOCKIS, V.; JUSKIENE, V.; LEVIC, J. Effect of die channel press way length on physical quality of pelleted cattle feed. **Journal of Institute for Food Technology**, v.37, p.1-6, 2010.

CORZO, A.; MEJIA, L.; LOAR, I. I. R. E. Effect of pellet quality on various broiler production parameters. **Journal Applied of Poultry Research**, v.20, p.68–74, 2011.

CRESWELL, D., BEDFORD, M. High pelleting temperatures reduces broiler performance. In: Australian Poutry Science Symposium, **Proceedings...**p. 1-6, 2006.

DOZIER III, W. A; BEHNKE, K. C.; GEHRING, C. K.; BRANTON, S. L. Effects of feed form on growth performance and processing yields of broiler chickens during a 42-day production period. **Journal Applied of Poultry Research**, v.19, p. 219–26, 2010.

DOZIER III, W. A. Pelet de calidad para obtener carne de ave más economica. **Alim. Balanc. Anim.**, v.8, p.16-19, 2001.

DUKE, G. E. Alimentary canal: Anatomy, regulation of feeding and motility. In: **Avian Physiology**. Ed: P.D. Sturkie. New York, Springer Verlad, pp. 269-288, 1986.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v.46, p.33-50, 1992.

ENSMINGER, M. E. Processing effects. In: **Feed Manufacturing Technology III**. AFIA. Cap. 66. p. 529-533, 1985.

FAHRENHOLZ, A. C. **Evaluating factors affecting pellet durability and energy consumption in a pilot feed mill and comparing methods for evaluating pellet durability**. 66p. Dissertação de mestrado. Kansas State University, Kansas, 2012.

FAIRFIELD, D. A. Pelleting for Profit - Feed and Feeding Digest. **National Grain and Feed Association Part 1**. v. 54, 2003.

FANCHER, B. I.; ROLLINS, D.; TRIMBEE, B. Feed processing using the annular gap expander and its impact on poultry performance. **Journal Applied of Poultry Research**, v.5, p.386-394, 1996.

FRANKE, M.; REY, A. Improving pellet quality and efficiency. **Feed Technology**, v.10, n.3, 2006.

GENTLE, M. J.; BREWARD, J. The bill tip organ of the chicken (*Gallus gallus var. domesticus*). **Journal of Anatomy**, v.145, p. 79-85, 1986.

HANCOCK, J. D. Extrusion cooking of dietary ingredients for animal feeding. Contribution No. 92-316A. Kansas Agriculture Expansion Station. In: **Proceedings of Distillers Feed Conference**. Cincinnati. Ohio. v.47, p.33, 1992.

HOLM, J.; BJÖRCK, I. Effects of thermal-processing of wheat on starch 2. Enzymic availability. **Journal of Cereal Science**, v.8, p. 261-268, 1988.

JACOBS, C. M.; UTTERBACK, P. L.; PARSONS, C. M. Effects of corn particle size on growth performance and nutrient utilization in young chicks. **Poultry Science**, v.89, p.539-544, 2010.

JENSEN, L. S.; MERRILL, L. H.; REDDY, C. V.; MCGINNIS, J.; Observations on eating patterns and rate of food passage of birds fed pelleted and unpelleted diets. **Poultry Science**, v.41, p.1414-1419, 1962.

KLEIN, A. A. Peletização de Rações: Aspectos Técnicos, Custos e Benefícios e Inovações Tecnológicas. **Boletim técnico**. Disponível em: <http://pt.engormix.com/MA-balanceados/fabricacao/artigos/peletizacao-racoes-aspectos-tecnicos_159.htm> Acesso em 20 jan. 2018.

KOKIĆ, B. M.; LEVIĆ, J. D.; CHRENKOVÁ, M.; FORMELOVÁ, Z.; POLÁČIKOVÁ, M.; RAJSKÝ, M.; JOVANOVIĆ, R. D. Influence of thermal treatments on starch gelatinization and in vitro organic matter digestibility of corn. **Food and Feed Research**, v.40, p.93-99, 2013.

LATSHAW, J. D.; MORITZ, J. S. The partitioning of metabolizable energy by broiler chickens. **Poultry Science**, v.88, p.98–105, 2009.

LEAVER, R. H. The pelleting process. Andritz Sprout. Disponível em: <<http://www.andritzsproutbauer.com/pdf/The-Pelleting-Process-v2008.pdf>> Acesso em: 20 de jan. 2018.

LECZNIESKI, J. L.; RIBEIRO, A. M. L.; KESSLER, A. M.; PENZ JR, A. M. Influência da forma física e do nível de energia da ração no desempenho e na composição de frangos de corte. **Arch. Latinoam. Prod. Anim.** v.9, p. 6-11, 2001.

LÓPEZ, C. A. A.; BAIÃO, N. C.; LARA, L. J. C.; RODRIGUEZ, N. M.; CANÇADO, S. V. Efeitos da forma física da ração sobre a digestibilidade dos nutrientes e desempenho de frangos de corte. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p.1006-1013, 2007.

LOWE, R. Judging pellet stability as part of pellet quality. **Feed Tech**, v. 9, n. 2., 2005.

LUND, D.; LORENZ, K. J.; Influence of time, temperature, moisture, ingredients, and processing conditions on starch gelatinization. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr**, v.20, p.249-273, 1984.

MASSUQUETTO, A.; DURAU, J. F.; SCHRAMM, V. G.; TEIXEIRA NETTO, M. V.; KRABBE, E. L.; MAIORKA, A. Influence of feed form and conditioning time on pellet quality, performance and ileal nutrient digestibility in broilers. **Journal Applied of Poultry Research**, v.27, p. 51-58, 2018.

McKINNEY, L. J.; TEETER, R. G. Predicting effective caloric value of nonnutritive factors: I. pellet quality and II. prediction of consequential formulation dead zones. **Poultry Science**, Champaign, v.83, p.1165-1174, 2004.

MEINERZ, C.; RIBEIRO, A. M. L.; PENZ JR., A. M.; KESSLER, A. M. Níveis de energia e peletização no desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte com oferta alimentar equalizada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.2026-2032, 2001.

MENDEZ, J. R. I. E.; SANTOMA, G. Feed Manufacturing. **The Nutrition of the Rabbit**. Cab International, 2008.

MINA-BOAC, J.; MAGHIRANG, R. G.; CASADA, M. E. **Durability and Breakage of Feed Pellets during Repeated Elevator Handling**. ASABE Annual International Meeting. ASABE. Portland, Oregon. 2006.

MINGBIN, L. V.; LEI, Y.; ZHENG GUO, W.; SHA, A.; MIAOMIAO, W.; ZUNZHOU, L. V. Effects of feed form and feed particle size on growth performance, carcass characteristics and digestive tract development of broilers. **Animal Nutrition**, v.1, p.252–256, 2015.

MORAN, E. T., Jr. Pelleting affects feed and its consumption. **World Poult.**, v.5, p.30–31, 1987.

MORAN JR, E. T. Comparative nutrition of the fowl and swine. The gastrointestinal system. Guelph, Ontário, Canada: University of Guelph, 1982.

MOREL, P. C. H.; TIMMERS, J. A.; DE WIT, T. A. T. H.; WOOD, G. R.; SHERRIFF, R.; CAMDEN, B. J.; THOMAS, D. V.; RAVINDRAN, V. Prediction of feed intake in modern broilers. **Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium**, v.13, p.152–155, 2001.

MORITZ, J. S.; PARSONS, A. S.; BUCHANAN, N. P.; CALVALCANTI, W. B.; CRAMER, K. R.; BEYER, R. S. Effect of gelatinizing dietary starch through feed processing on zero-to three-week broiler performance and metabolism. **Journal Applied of Poultry Research**, v.14, p.47–54, 2005.

MORITZ, J. S.; WILSON, K. J.; CRAMER, K. R.; BEYER, R. S.; MCKINNEY, L. J.; CAVALCANTI, B.; MO, X. Effect of formulation density, moisture, and surfactant on feed manufacturing, pellet quality, and broiler performance. **Journal Applied of Poultry Research**. v.11, p.155–163, 2002.

MURAMATSU, K.; VACCARI, I. C. M.; MINAFRA, C. S.; SENS, R. F.; DAHLKE, F.; MAIORKA, A. Effect of thermal processing, press throughput and roller-die gap on physicochemical properties of broiler feed pellets. **Journal of Agricultural Science and Technology A**, v.6, p.98-107, 2016.

MURAMATSU, K.; MASSUQUETTO, A.; DAHLKE, F.; MAIORKA, A. Factors that affect pellet quality: a review. **Journal of Agricultural Science and Technology A**, v.5, p.717-722, 2015.

MURAMATSU K.; MAIORKA A.; DAHLKE, F.; LOPES, A. S.; PASCHE, M. Impact of particle size, thermal processing, fat inclusion, and moisture addition on starch gelatinization of broiler feeds. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.16, p.367-374, 2014.

MURAMATSU, K.; MAIORKA, A.; VACCARI, I. C. M.; REIS, R. N.; DAHLKE, F.; PINTO, A. A.; ORLANDO, U. A. D.; BUENO, M.; IMAGAWA, M. Impact of particle size, thermal processing, fat inclusion and moisture addition on pellet quality and protein solubility of broiler feeds. **J. Agric. Sci. Technol. A**. v.3, p.1017-1028, 2013.

NATEL, J. C. C. Aplicação de diferentes níveis de óleo pós-peletização sobre a qualidade física da ração. 2014. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal do Paraná.

NELSON, D. L.; COX, M. M. Lehninger. **Princípios de Bioquímica**. 5º Ed. São Paulo, Sarvier, 2011.

NIR, I.; HILLEL, R.; PTICHI, I.; SHEFET, G. Effect of particle size on performance. Grinding Pelleting interactions. **Poultry Science**, v.7, p.771-783, 1995.

NIR, I.; SHEFET, Y.; ARONI, G. Effect of particle size on performance. I. corn. **Poultry Science**, v.73, p.45-49, 1994.

NIR, I.; PTICHI, I. Feed particle size and hardness: influence on performance, nutritional, behavioral and metabolic aspects. **Advances in Nutritional Technology** p.157-186, 2001.

PACHECO, W. J.; STARK, C. R.; FERKET, P. R.; BRAKE, J. Evaluation of soybean meal source and particle size on broiler performance, nutrient digestibility, and gizzard development. **Poultry Science**, v.92, p.2914-2922, 2013.

PARKER, R.; RING, S. G. Aspects of the physical chemistry of starch. **Journal of Cereal Science**, v.34, p.1-17, 2001.

PAYNE, J.; RATTINK, W.; SMITH, T.; WINOWISKI, T. The Pelleting Handbook: A guide for production staff in the compound feed industry. Borregaard, Lignotech, 1998.

REIMER, L. Conditioning. Northern Crops Institute Feed Mill Management and Feed Manufacturing Technol. Short Course. p.7. California Pellet Mill Co. Crawfordsville, **Proceedings...** 1992.

ROZA, L. F.; TAVERNARI, F. C.; SUREK, D.; SORDIA, C.; ALBINO, L. F. T.; PAIANO, D.; BOIAGO, M. M.; PETROLI, T. G.; CUNHA JÚNIOR, A. Metabolizable energy and amino acid digestibility of mash and pelleted diets for broilers determined under different methodologies. **Animal Feed Science and Technology**, v.235, p.1-7, 2018.

SCHIFFMAN, H. R. Texture preference and acuity in the domestic chick. **Journal of Comparative and Physiological Psychology**, v.67, p.462-464, 1969.

SKINNER, J. T.; WALDROUP, A. L.; WALDROUP, P. W. Effects of dietary nutrient density on performance and carcass quality of broilers 42 to 49 days of age. **Poultry Science**, v. 1, p.367, 1992.

SKOCH, E. R.; BEHNKE, K. C.; DEYOE, C. W.; BINDER, S. F. The effect of steam-conditioning rate on the pelleting process. **Animal Feed Science and Technology**, v.6, p.83-90, 1981.

SCOTT, T. A.; SWIFT, M. L.; BEDFORD, M. R. The influence of feed milling, enzyme supplementation, and nutrient regimen on broiler chick performance. **Journal of Applied Poultry Research**, v.6, p.391-398, 1997.

SCOTT, T. A.; SILVERSIDES, F. G. Defining the effects of wheat type, water inclusion level, and wet-diet restriction on variability in performance of broilers fed

wheat-based diets with added water. **Canadian Journal of Animal Science**, v.83, p.265–272, 2003.

STEVENS, C. A. **Starch gelatinization and the influence of particle size, steam pressure and die speed on the pelleting process**. Tese de doutorado. Kansas State University, Manhattan, Kansas, 1987.

SUNDU, B. The effect of diet and pellet size on the passage rate of feed in the digestive tract of broiler chickens. **J. Agroland**, v.14, p.330-335, 2008.

SVIHUS, B. Limitations to wheat starch digestion in growing broiler chickens: A brief review. **Anim. Prod. Sci.**, v.51, p.583–589. 2011.

SVIHUS, B. 2006. The role of feed processing on gastrointestinal function and health in poultry. Pages 183–194 in *Avian Gut Function in Health and Disease*. G. C. Perry, ed. CAB International, Wallingford, UK.

SVIHUS, B.; UHLEN, A. K.; HARSTAD, O. M. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v.122, p.303–320, 2005.

SVIHUS, B.; KLØVSTAD, K. H.; PEREZ, V.; ZIMONJA, O.; SAHLSTRÖM, S.; SCHÜLLER, R. B.; JEKSRUD, W. K.; PRESTLØKKEN, E. Nutritional effects of pelleting of broiler chicken diets made from wheat ground to different coarsenesses by the use of roller mill and hammer mill. **Animal Feed Science and Technology**, v.117, p.281–293, 2004.

TEETER, R. G.; SMITH, M. O. Feed intake effects upon gain, carcass yield, and ration digestibility in broilers force fed five feed intakes. **Poultry Science**, v.64, p.2155–2160, 1985.

TEIXEIRA NETTO, M. V. **Temperatura de condicionamento no processo de peletização de dietas para frangos de corte**. 2014. 56f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

THOMAS, M.; HUIJNEN, P. T. H. J.; VAN VLIET, T.; VAN ZUILICHEM, D.; VAN DER POEL, A. F. B. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.79, p.1481–1494, 1999.

TURK, D. E. The anatomy of the avian digestive tract as related to feed utilization. **Poultry Science**, v.61, p.1225–1244, 1982.

VORAGEN, A. G. J.; GRUPPEN, H.; MARSMANI, G. J. P.; MUL, A. J. Effect of some manufacturing technologies on chemical, physical and nutritional properties of feed. In: **Recent Advances in Animal Nutrition**, 1995. Nottingham: University Press, 1995.

WANG, L. Z.; WHITE, P. J. Structure and properties of amylase, amylopectin and intermediate materials of oat starches. **American Association of Cereal Chemists**, v.71, p.263-268, 1994.

WILLIAMS, P. E. V.; MONGE, H.; JACKSON, D. 1997. Effects on the performance of poultry of manufacturing feed. using expansion plus pelletin g compared with pelleting alone. In: **Proceedings od Australian Poultry Science Symposium**.

WONDRA, K. J.; HANCOCK, J. D.; BEHNKE, K. C.; HINES, R. H.; STARK, C. R. Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v.73, p.757-763, 1995.

ZATARI, I. M.; FERKET, P. R.; SCHIEDLER, S. E. Effect of pellet integrity, calcium lignosulfonate, and dietary energy on performance of summer-raised broiler chickens. **Poultry Science**, v.69, p.198, 1990.

ZELENKA, J. Effect of pelleting on digestibility and metabolizable energy values of poultry diets. **Czech J. Anim. Sci.**, v. 48, p.239–242, 2003.

ZIMONJA, O.; HETLAND, H.; LAZAREVIC, N.; EDVARDSSEN, D.H.; SVIHUS, B. Effects of fibre content in pelleted wheat and oat diets on technical pellet quality and nutritional value for broiler chickens. **Canadian Journal of Animal Science**, p.613-622, 2008.

ZIMONJA, O.; STEVNEBØ, A.; SVIHUS, B. Nutritional value of diets for broiler chickens as affected by fat source, amylose level and diet processing. **Canadian Journal of Animal Science**, v.87, p.553-562, 2007.

CAPÍTULO I - EFEITO DA PELETIZAÇÃO E DE DIFERENTES PROGRAMAS ALIMENTARES SOBRE O DESEMPENHO, DIGESTIBILIDADE, RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO DE CARÇA DE FRANGOS DE CORTE

RESUMO

Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes programas alimentares e do processo de peletização da dieta sobre o desempenho, digestibilidade da matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e energia digestível ileal (EDI), rendimento e composição de carcaça de frangos de corte de 21 a 35 dias de idade. Foram utilizados 768 pintos machos Cobb® distribuídos em delineamento inteiramente casualizado com seis tratamentos e oito repetições de 16 aves cada. Os tratamentos consistiram de dieta farelada fornecida à vontade, peletizada à vontade, ou peletizadas e fornecidas na mesma proporção (100%) ou restritas a 95, 90 e 85% (P100, P95, P90 e P85) da quantidade consumida do tratamento farelada à vontade. Os resultados obtidos foram submetidos à ANOVA e, se significativas, as médias comparadas pelo teste de Dunnett ($P < 0,05$) utilizando a dieta farelada como controle. O fornecimento da dieta peletizada à vontade proporcionou maior consumo de ração (CR) e ganho de peso (GP), melhor conversão alimentar (CA), melhor conversão alimentar ajustada para 2,3kg (CAj, $P < 0,001$) e calórica (CC; $P < 0,001$), maior quantidade de gordura abdominal ($P < 0,001$) e maior deposição de PB e EE na carcaça ($P < 0,001$) em comparação ao controle. Porém, não houve efeito na digestibilidade das frações avaliadas ($P > 0,05$). Ao fornecer ração peletizada na mesma quantidade do consumido pelo grupo controle, não houve diferença para qualquer parâmetro avaliado ($P > 0,05$). A restrição de consumo das dietas peletizadas em 95, 90 e 85% resultou em menor GP ($P < 0,001$). Os tratamentos P90 e P95 resultaram em menor quantidade de PB na carcaça, porém a digestibilidade da MS, PB e EDI foi maior ($P < 0,001$). Houve redução no rendimento de carcaça ($P < 0,05$) dos animais alimentados com a dieta P85. Ao realizar análise de regressão entre P100, P95, P90 e P85, verificou-se redução linear no GP, e no EE depositado na carcaça à medida que se aumentou a restrição ($P < 0,01$). Entretanto, houve aumento linear na digestibilidade das frações da dieta ($P < 0,001$). Conclui-se que a peletização melhora o desempenho de frangos de corte, mas esses resultados dependem do consumo de ração. A peletização melhora a deposição de proteína na carcaça, porém aumenta a quantidade de gordura abdominal e depositada da carcaça. A redução do consumo pode resultar em menor desempenho, menor rendimento de carcaça e deposição de proteína.

Palavras-chave: Aves. Consumo. Manutenção. Pair feeding. Processamento térmico.

CHAPTER I - EFFECT OF PELLETING AND FEEDING PROGRAM ON PERFORMANCE, NUTRIENT DIGESTIBILITY, CARCASS COMPOSITION AND YIELD OF BROILERS.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of different feeding programs and diet physical form on performance, digestibility of dry matter (DM), crude protein (CP) and ileal digestible energy (IDE), carcass yield and carcass composition of broiler chickens from 21 to 35 days of age. A total of 768 male Cobb® broilers were distributed in a completely randomized design with six treatments and eight replicates of 16 birds each. The treatments consisted of a mash diet provided *ad libitum*, pelleted *ad libitum*, or pelleted and provided in the same proportion (100%) or restricted to 95, 90 and 85% (P100, P95, P90 and P85) of the amount consumed by the mash diet *ad libitum*. The results were submitted to ANOVA and the means compared by the Dunnett test ($P < 0.05$) using mash diet as a control. Pelleted diet *ad libitum* increased feed intake (FI) and weight gain (WG), improved feed conversion ratio (FCR), adjusted feed conversion for 2,3kg (AFCR, $P < 0.001$) and caloric conversion (CC; $P < 0.001$), higher amount of abdominal fat and higher crude protein (CP) and ether extract (EE) deposition in the carcass ($P < 0.001$) compared to the control. However, there was no effect on the digestibility of the fractions evaluated ($P > 0.05$). Providing pelleted feed in the same amount as that consumed by the control group, there was no difference for any of the evaluated parameters ($P > 0.05$). Feed restriction of pelleted diets at 95, 90 and 85% resulted in lower WG ($P < 0.001$). The treatments P90 and P95 resulted in a lower amount of CP in the carcass, but the digestibility of DM, CP and IDE was higher ($P < 0.001$). There was a reduction in the carcass yield ($P < 0.05$) of the animals fed with the P85 diet. When regression analysis between P100, P95, P90 and P85 was performed, there was a linear reduction in WG, and in EE deposited in the carcass as the feed restriction increased ($P < 0.01$). However, there was a linear increase in the nutrient digestibility ($P < 0.001$). It is concluded that pelleting improves the performance of broiler chickens, but these results depend on feed intake. Pelleting improves the deposition of protein in the carcass, but increases the amount of abdominal fat and fat deposited in the carcass. Feed intake reduction may result in lower performance, lower carcass yield and protein deposition.

Key words: Birds. Intake. Maintenance. Pair feeding. Thermal processing.

1. INTRODUÇÃO

A peletização é o processamento térmico mais utilizado em dietas para frangos de corte, a fim de maximizar seu crescimento (DOZIER et al., 2010). Alguns benefícios da peletização incluem a redução da segregação de ingredientes, facilidade de manuseio, melhor fluidez da ração nos equipamentos, e torna possível a redução do custo de formulação por meio da inclusão de ingredientes alternativos (BEHNKE, 1994; FAIRFIELD, 2003) e da diminuição da energia da dieta (SKINNER et al., 1992; LECZNIESKI et al., 2001).

Está bem estabelecido que frangos de corte alimentados com dietas peletizadas apresentam melhor desempenho (CORZO et al., 2011; CHEWNING et al., 2012; ABDOLLAHI et al., 2013; MINGBIN et al., 2015; MASSUQUETTO et al., 2017). Esses resultados podem ser atribuídos a um índice de alimentação melhorado e/ou a uma necessidade de nutrientes reduzida pelo animal, tendo como resultado líquido a deposição de tecido mais eficiente (MCKINNEY e TEETER, 2004). Esta maior eficiência pode ser atribuída, entre outros fatores, a maior digestibilidade das frações da dieta e da energia decorrente da ação da temperatura, umidade e pressão empregadas durante o processo de condicionamento/peletização (MORAN, 1987). No entanto, estudos apontam que a peletização exerce pouco ou nenhum efeito sobre a biodisponibilidade dos nutrientes (BOLTON, 1960; SVIHUS et al. 2005; ROZA et al., 2018).

A peletização pode alterar a necessidade dos nutrientes porque os frangos gastam menos tempo comendo e mais tempo descansando (JENSEN, 1962; ZATARI et al., 1990; MCKINNEY e TEETER, 2004). Mckinney e Teeter (2004) atribuíram o valor de 187 kcal de energia metabolizável corrigida para nitrogênio (EMn/kg) de ração poupada em função do processo de peletização (100% de peletes fornecidos), observando que as aves apresentaram maior ganho final, ganho de gordura, ganho de tecido magro e ganho de energia líquida. Estudando a partição de energia metabolizável, Latshaw e Moritz (2009) observaram que dietas peletizadas aumentam o ganho de energia na carcaça e diminuem o incremento calórico.

Em função dos múltiplos fatores que contribuem para o aumento do desempenho, não está claro se essa melhor eficiência zootécnica ocorre em função

da maior capacidade de consumo de dietas peletizadas (LATSHAW, 2008), da redução no tempo gasto durante a ingestão de alimento (JENSEN et al. 1962), ao aumento da energia produtiva devido ao menor tempo gasto para consumo (MCKINNEY e TEETER, 2004), maior digestibilidade dos nutrientes (ZELENKA, 2003) ou, ainda, devido à associação de todos esses fatores.

Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da equalização do consumo entre dietas fareladas e peletizadas, e da redução no consumo diário de dieta peletizada em 95, 90 e 85% do consumido da dieta farelada à vontade, sobre o desempenho zootécnico, digestibilidade das frações da dieta e características de carcaça de frangos de corte de 21 a 35 dias de idade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Todos os procedimentos realizados foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal do Paraná (UFPR), sob protocolo nº 020/2015.

2.1 ANIMAIS E INSTALAÇÕES

Foram utilizados 768 frangos de corte machos da linhagem comercial Cobb 500®, oriundos de incubatório comercial, de 1 a 35 dias de idade. As aves foram alojadas em boxes com 2,06 m², sobre cama de maravalha, equipados com bebedouro *nipple* e comedouro tubular.

A temperatura foi mantida de acordo com o sugerido pelo manual da linhagem (COBB, 2013). Durante os 10 primeiros dias foi utilizada luz incandescente contínua (24 h) e após esse período foi utilizado programa de luz com 9 horas de escuro por dia.

2.2 DIETAS EXPERIMENTAIS E DESEMPENHO ZOOTÉCNICO

As dietas fornecidas foram à base de milho e farelo de soja, diferindo somente no tipo de processamento: farelada ou peletizada (Tabela 1). A dieta farelada apresentou Diâmetro Geométrico Médio (DGM) de 1025µm. No período que

antecedeu o fornecimento das dietas peletizadas e os diferentes programas alimentares, os animais foram alojados no galpão experimental e todas as parcelas receberam uma mesma dieta inicial farelada até os 18 dias, de acordo com as recomendações de Rostagno et al. (2011). A partir desse período, as aves foram submetidas a dois dias de adaptação às dietas experimentais e, somente a partir de 21 dias, aos diferentes programas alimentares até 35 dias de idade. No início do experimento as aves apresentavam peso médio de $795 \pm 38\text{g}$. Diariamente todos os comedouros das parcelas que receberam a dieta farelada *ad libitum* foram pesados e, com base no consumo diário da ração farelada, foi determinada a quantidade fornecida para os tratamentos restritos (100, 95, 90 e 85% da quantidade de ração diária consumida pelo controle). Aos 21 e 35 dias de idade, todas as aves dos boxes foram pesadas para determinar ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), conversão alimentar ajustada para 2300g de peso vivo (CAj) e calórica (CC). A CAj foi calculada visando padronização do peso, uma vez que houve grande variação no peso médio em função dos diferentes programas alimentares, realizada de acordo com a seguinte equação:

$$CAj = ((2300 - PM35)/3200) + CA35$$

No qual (2300) é o peso médio (g) esperado para a linhagem aos 35 dias (COBB, 2013), (PM35) é o peso médio obtido aos 35 dias e CA35 é a conversão alimentar obtida aos 35 dias.

A CC foi calculada pelo CR multiplicado pela EM calculada, e o valor dividido pelo GP. A mortalidade foi registrada diariamente.

Para a fabricação das dietas peletizadas, foi utilizada uma peletizadora a vapor (Koppers Júnior C40 - Koppers Company, Inc. Pittsburgh, PA, USA), com motor Siemens de 50 hp e anel com furos de diâmetro de 4,7 mm. O tempo de condicionamento foi de 10 segundos com temperatura de 75°C e pressão de 1.5 kgf/cm², e os peletes mediam 5,0 mm. Após o processo de peletização as dietas foram secas e resfriadas a temperatura média de 37°C. Ao término do processo de manufatura, amostras de cada tratamento foram coletadas para realização das

análises físico-químicas. A dieta peletizada apresentou Índice de Durabilidade dos Peletes (PDI) de 80,6% e dureza de 4,0 kgf/cm².

Tabela 1. Composição das dietas experimentais.

Ingrediente	Quantidade (%)
Milho	58,688
Farelo de Soja 45	32,207
Óleo de Soja	4,000
Fosfato Bicálcico	1,104
Calcário Calcítico	0,770
Cloreto de Sódio (NaCl)	0,480
Celite ¹	1,000
Inerte (Caulim)	0,200
Sequestrante de Toxinas	0,200
DL-Metionina	0,966
L-Lisina HCL	0,201
L-Treonina	0,071
Premix Mineral ²	0,050
Premix Vitamínico ³	0,050
Antioxidante ⁴	0,010
Composição química calculada	Valores (%)
Energia Metabolizável (kcal/kg)	3100
Proteína Bruta	19,402
Extrato Etéreo	6,649
Fibra Bruta	2,722
Matéria Mineral	3,871
Cálcio	0,650
Fósforo Disponível	0,320
Sódio	0,200
Cloro	0,337
Potássio	0,759
Lisina digestível	1,045
Metionina digestível	1,194
Metionina + Cisteína digestível	1,490
Treonina digestível	0,680
Triptofano digestível	0,203

¹ Celite® 400: Marcador insolúvel (Celite, Celite Corp., Lompoc, CA).

² Suplementado por kg da dieta: Cu, 10 mg; Fe, 50 mg; Mn, 80 mg; Co, 1,0 mg; I, 1,0 mg; Zn, 50 mg.

³ Suplementado por kg da dieta: vitamina A, 10.800 IU; vitamina D3, 3.000 IU; vitamina E, 240 IU; vitamina K3, 3,0 mg; vitamina B1, 1,8 mg; vitamina B2, 7,2 mg; vitamina B6, 3,6 mg; vitamina B12, 14,4 mcg; ácido pantotênico, 14,4 mg; niacina, 30 mg; ácido fólico, 0,96 mg; biotina, 0,07 mg; selênio 0,30 mg.

⁴ Hidroxitolueno butilado (B.H.T 98, Cargill, Inc.)

2.3 DIGESTIBILIDADE

No 35º dia, duas aves por unidade experimental (totalizando 96 aves) foram eutanasiadas para coleta de conteúdo ileal para realização das análises de digestibilidade. As aves foram evisceradas e a porção do íleo separada para retirada do conteúdo ileal. A fração ileal foi definida como 4 cm abaixo do divertículo de Meckel e 4 cm acima da junção íleo-ceco-cólica. O conteúdo ileal coletado foi homogeneizado, congelado e liofilizado (Liofilizador Modulyo D, Thermo Electron Corporation, Waltham, MA, USA) até a pressão de vácuo de 5×10^{-2} mbar.

Amostras das rações e do conteúdo ileal foram moídas a 1 mm e analisadas quanto ao teor de matéria seca após secagem em estufa a 105°C por 12 horas; proteína bruta (método 954.01) de acordo com a AOAC (1995). O conteúdo de energia bruta foi determinado em bomba calorimétrica (Ika Werke C2000 Control Oxygen Bomb Calorimeter - Ika-Werke GmbH&Co, Staufen, Germany). A cinza insolúvel em ácido foi utilizada como marcador indigestível para os cálculos de digestibilidade, e determinada de acordo com a metodologia descrita por Van Keulen e Young (1977).

Os coeficientes de digestibilidade ileal aparente (CDIA) das frações da dieta foram calculados de acordo com a equação abaixo:

$$CDIA \text{ da fração da dieta} = \frac{(fração \text{ na dieta}) - (fração \text{ no conteúdo ileal} \times FI)}{fração \text{ na dieta}}$$

No qual (FI) é a razão entre a CIA da dieta e a CIA no conteúdo ileal.

A energia digestível ileal (EDI) foi calculada de acordo com a seguinte equação:

$$EDI \text{ (kcal/kg de MS)} = EB \text{ na dieta} - (EB \text{ no conteúdo ileal} \times FI)$$

2.4 RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO DE CARÇAÇA

No 35º dia de criação, 60 aves (10 aves por tratamento) foram eutanasiadas, escaldadas e as penas, cabeça, vísceras e pés foram removidos. Após a remoção das vísceras, as carcaças foram lavadas e colocadas no tanque de resfriamento durante 60 minutos a 2°C. As carcaças, peito, coxa e sobrecoxa e gordura foram pesados para os cálculos de rendimento. Após a realização das medições de rendimento, as carcaças juntamente com as vísceras (sem conteúdo), cabeça e pés foram congeladas e depois moídas em moedor de carne industrial, moídas com peneira com furos de 8 mm e remoídas passando por peneira de 4 mm, para análise de composição de carcaça. Aproximadamente 500 g do produto final foram secos em estufa a 65°C e moídos em gral com pistilo de porcelana. Realizou-se análise de PB (método 954.01); cinzas (método 942.05) e extrato etéreo (EE; método 945.16) de acordo com a AOAC (1995). Além disso, o método de abate comparativo foi realizado para determinar a deposição de proteína e gordura na carcaça, por meio da diferença entre a composição de carcaça no início e no final do experimento. Para isso, cinco aves foram abatidas aos 21 dias para definir a composição inicial das carcaças e depois compara-la com os resultados aos 35 dias de idade.

2.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com seis tratamentos e oito repetições de 16 aves cada. Os tratamentos foram constituídos pelos diferentes tipos de processamento da dieta (farelada ou peletizada) e de acordo com o programa alimentar utilizado: peletizada à vontade, peletizada fornecida de maneira equalizada (100%) ou restritas a 95, 90 e 85% da quantidade consumida pelo grupo que recebeu dieta farelada à vontade (P100, P95, P90, P85).

Os dados obtidos foram primeiramente submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk). Posteriormente, os dados foram submetidos à ANOVA e se significativo, as médias comparadas pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade utilizando a dieta farelada como controle. Realizou-se também análise de regressão linear entre os tratamentos P100, P95, P90, P85.

3. RESULTADOS

3.1 DESEMPENHO

Dietas peletizadas fornecidas à vontade proporcionaram maior CR e GP ($P<0,001$), e melhor CA, CAj e CC ($P<0,001$) em relação ao tratamento controle (tabela 2). Ao fornecer a dieta peletizada equalizada ao consumo da farelada, não houve diferença para qualquer parâmetro de desempenho avaliado ($P>0,05$). Ao reduzir as quantidades de dieta peletizada fornecida (P95, P90 e P85), as aves apresentaram menor GP ($P<0,001$). Na avaliação somente das dietas peletizadas (P100, P95, P90 e P85), conforme reduziu a quantidade de alimento fornecida verificou-se redução linear ($P<0,001$) para GP, porém não houve diferença para CA e conversão calórica ($P>0,05$). É importante ressaltar que o CR apresentou comportamento linear ($R^2=1$), pois a quantidade de ração peletizada fornecida foi exatamente na proporção de 100, 95, 90 e 85% da quantidade de ração farelada consumida.

Tabela 2. Efeito da equalização de consumo e da peletização (P) sobre consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA) e conversão calórica (CC) de frangos de corte de 21 a 35 dias de idade.

Tratamentos ¹	CR (g)	GP (g)	CA (g/g)	CAj (g/g)	CC (kcal/g)
Peletizada à vontade	2108*	1447*	1,442*	1,457*	4525*
Farelada à vontade (controle)	1902	1240	1,532	1,620	4708
P100	1900	1231	1,545	1,626	4788
P95	1805*	1191*	1,516	1,618	4699
P90	1710*	1132*	1,510	1,627	4682
P85	1615*	1067*	1,511	1,656	4685
EPM	24,258	19,153	0,007	0,012	16,923
Probabilidade	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Linear		<0,001 ²	0,100	0,7332	0,097
Quadrática		0,282	0,431	0,3810	0,424

EPM= erro padrão da média

*Diferem do controle ($P \leq 0.05$) pelo teste de Dunnett

¹ Farelada à vontade (controle), peletizada à vontade, peletizada fornecida na mesma quantidade do controle (P100) ou restritas a 95, 90 e 85% da quantidade consumida pelo controle (P100, P95, P90).

² Efeito linear para os diferentes programas alimentares ($P<0,0001$), $Y=0,0112x + 0,1241$; $R^2=0,9266$

3.2 RENDIMENTO DE CARÇAÇA

Nas variáveis de carcaça, dieta peletizada fornecida à vontade resultou em maior quantidade de gordura abdominal quando comparada a dieta controle ($P<0,01$). Porém, não houve diferença no rendimento de carcaça e cortes ($P>0,05$; tabela 3). Os diferentes programas alimentares não afetaram o rendimento de peito, coxa+sobrecoxa e quantidade de gordura abdominal ($P>0,05$). O fornecimento da dieta P85 reduziu o rendimento de carcaça em relação ao controle ($P<0,05$).

Tabela 3. Efeito da equalização de consumo e da peletização sobre o rendimento de carcaça, peito e coxa + sobrecoxa e quantidade de gordura abdominal (%) de frangos de corte aos 35 dias de idade.

Tratamento ¹	Carcaça	Peito	Coxa+Sobrecoxa	Gordura
Peletizada à vontade	78,02	35,68	28,00	1,82*
Farelada à vontade (controle)	77,93	34,79	28,44	1,12
P100	76,49	34,61	28,54	1,13
P95	76,52	35,20	27,74	1,13
P90	75,86	35,21	28,60	1,12
P85	75,74*	34,91	28,65	0,95
EPM	0,264	0,207	0,146	0,059
Probabilidade	0,027	0,733	0,406	<0,001
Linear	0,999	0,879	0,513	0,989
Quadrática	0,533	0,994	0,582	0,852

EPM = erro padrão da média

*Diferem do controle ($P<0,05$) pelo teste de Dunnett

¹ Farelada à vontade (controle), peletizada à vontade, peletizada fornecida na mesma quantidade do controle (P100) ou restritas a 95, 90 e 85% da quantidade consumida pelo controle (P100, P95, P90).

3.3 COMPOSIÇÃO DE CARÇAÇA

Frangos de corte alimentados com a dieta peletizada à vontade apresentaram maior quantidade de EE na carcaça em relação a dieta controle ($P<0,01$; tabela 4). Quando expresso em gramas da carcaça corrigido para MS total, a dieta peletizada à vontade resultou em maior deposição de PB, ao passo que os tratamentos restritos a 90 e 85% da farelada apresentaram menor deposição que a dieta controle ($P<0,01$).

Na determinação da deposição de proteína e gordura pela diferença entre a composição inicial e final, houve maior deposição de PB e EE em dietas peletizadas

fornechas à vontade ($P < 0,001$; tabela 5). A restrição do consumo em 90 e 95% do consumido pela farelada resultou em menor deposição de proteína na carcaça ($P < 0,001$).

Tabela 4. Composição de carcaça (RM, resíduo mineral; PB, proteína bruta; EE, extrato etéreo) em porcentagem (%) gramas em relação à carcaça (g) e sobre o peso metabólico (PM, g^{0,75}) de frangos de corte aos 35 dias de idade alimentados de acordo com diferentes programas alimentares.

Tratamento ¹	Umidade	Porcentagem			g da carcaça			g de peso metabólico (PM, g 0,75)		
		RM	PB	EE	RM	PB	EE	RM	PB	EE
Pelletizada à vontade	68,74	2,11	15,73	13,05*	38,13	290,65 *	229,47 *	23,31	167,08	138,57 *
Farelada à vontade	68,79	2,10	16,29	12,04	33,42	266,07	193,06	20,51	161,01	119,62
P100	69,09	2,19	15,77	12,25	34,26	251,11	192,28	22,01	160,10	122,66
P95	68,96	2,18	15,66	12,08	34,97	249,98	190,72	21,95	158,94	123,66
P90	69,68	2,27	15,65	11,50	33,62	239,42 *	179,83	22,04	156,49	114,64
P85	69,49	2,38*	16,35	11,29	34,89	237,42 *	165,42	23,02	155,61	108,12
EPM	0,190	0,033	0,119	0,221	0,624	3,317	4,433	0,418	1,622	1,902
Probabilidade	0,424	0,038	0,103	0,049	0,174	<0,001	<0,001	0,294	0,171	<0,001
Linear	0,555	0,150	0,439	0,367	0,999	0,386	0,124	0,879	0,772	0,009 ²
Quadrática	0,801	0,842	0,386	1,000	0,997	0,999	0,903	0,947	1,00	0,726

EPM = Erro padrão da média

*Diferem do controle (P<0,05) pelo teste de Dunnett

¹ Farelada à vontade (controle), pelletizada à vontade, pelletizada fornecida na mesma quantidade do controle (P100) ou restritas a 95, 90 e 85% da quantidade consumida pelo controle (P100, P95, P90).

² Efeito linear para os diferentes programas alimentares (P<0,01), Y = 1,0516x + 19,854; R² = 0,2843.

Tabela 5. Deposição de proteína (PB) e gordura (EE) em gramas da carcaça (g) e em gramas de peso metabólico (PM, g^{0,75}) de frangos de corte aos 35 dias de idade.

Tratamentos ¹	Depositado (g da carcaça)		Depositado (g de PM ^{0,75})	
	PB	EE	PB	EE
Peletizada à vontade	192,55 *	163,07 *	82,41	81,43 *
Farelada à vontade	167,97	132,04	76,33	62,47
P100	153,01	122,11	75,42	65,51
P95	151,88	130,10	74,26	66,52
P90	141,32 *	113,43	71,81	57,50
P85	139,32 *	102,82	70,93	50,97
EPM	3,317	4,324	1,622	1,902
Probabilidade	<0,001	<0,001	0,171	<0,001
Linear	0,756	0,269	0,772	0,009 ²
Quadrática	0,999	0,755	1,000	0,726

EPM = erro padrão da média

*Diferem do controle (P<0,05) pelo teste de Dunnett

¹ Farelada à vontade (controle), peletizada à vontade, peletizada fornecida na mesma quantidade do controle (P100) ou restritas a 95, 90 e 85% da quantidade consumida pelo controle (P100, P95, P90).

² Efeito linear para os diferentes programas alimentares (P<0,01), Y = 1,0516x - 37,291; R² = 0,2843

3.4 DIGESTIBILIDADE

Não houve diferença entre a dieta peletizada fornecida à vontade ou P100 e o controle para qualquer parâmetro de digestibilidade avaliado (P>0,05; Tabela 6). A redução no consumo proporcionou melhor digestibilidade sendo que as dietas P90 e P85 resultaram em maiores CDIA da MS, PB e EDI em relação ao controle (P<0,001). Houve aumento linear da digestibilidade da PB e EDI conforme CR reduziu entre as dietas P100, P95, P90 e P85. Já, o CDIA da MS apresentou com comportamento quadrático, sendo que o ponto mínimo observado foi 100,89, ou seja, o menor valor de digestibilidade da MS foi observado acima do fornecimento de dieta peletizada fornecida 100% do consumido pelo controle.

Tabela 6. Coeficientes de digestibilidade ileal aparente (CDIA) da matéria seca (MS), da proteína bruta (PB) e energia digestível ileal (EDI) em frangos de corte aos 35 dias de idade submetidos a diferentes programas alimentares.

Tratamento	CDIAMS (%)	CDIAPB (%)	EDI (kcal/kg)
Peletizada à vontade	74,45	80,63	3481
Farelada à vontade (controle)	72,94	81,77	3495
P100	72,98	81,80	3596
P95	72,34	81,67	3562
P90	76,21*	86,28*	3738*
P85	77,81*	88,16*	3772*
EPM	0,430	0,660	27,443
Probabilidade	<0,001	<0,001	<0,001
Linear	<0,001	<0,001 ³	<0,001 ⁴
Quadrática	0,014 ²	0,157	0,073

EPM = erro padrão da média

*Diferem do controle (P<0,05) pelo teste de Dunnett

¹ Farelada à vontade (controle), peletizada à vontade, peletizada fornecida na mesma quantidade do controle (P100) ou restritas a 95, 90 e 85% da quantidade consumida pelo controle (P100, P95, P90).

² $Y = 0,0219x^2 - 4,4192x + 295,95$; $R^2 = 0,6165$

³ $Y = -0,4855x + 129,27$; $R^2 = 0,5328$

⁴ $Y = -14,678x + 5021,1$; $R^2 = 0,4997$

4. DISCUSSÃO

Esta pesquisa destaca a importância do aumento do CR proporcionado pela modificação da forma física da dieta e seu efeito sobre o GP em frangos de corte. As aves alimentadas com dieta peletizada à vontade apresentaram aumento de 11% no CR em relação às que receberam dieta farelada à vontade, o que resultou em GP 17% superior, melhora de 6% da CA e reduz 183 kcal na CC. Ao ajustar a CA para 2,3kg de peso, houve melhora de 11% em comparação à farelada. É geralmente aceito que, em comparação com a dieta farelada, a peletização aumenta o CR e GP (NIR et al., 1994; DOZIER et al., 2010; ABDOLLAHI et al., 2013; MINGBIN et al., 2015; MASSUQUETTO et al., 2018). Calet 1965 e Meinerz et al. (2001) afirmam que o maior efeito da peletização é proporcionar às aves maior consumo de alimento. Entretanto, é importante ressaltar que o aumento de 11% no CR encontrado no presente trabalho, só foi possível de ser obtido devido à boa qualidade física das dietas peletizadas (PDI acima de 80%). Conforme demonstrado por McKinney e Teeter (2004), o fornecimento de dietas contendo maior quantidade de finos resultou

em menor frequência de descanso e efetividade calórica, mostrando que dietas com baixa qualidade física podem interferir no consumo em aves.

Quando o CR entre a dieta farelada e peletizada foi equalizado (P100), não houve diferença no GP e CA. Esses resultados demonstram que o CR exerce maior efeito sobre o crescimento do que fatores relacionados às modificações na biodisponibilidade de nutrientes proporcionadas pelo processamento térmico. Se a digestibilidade das frações fosse melhorada pelo processo de peletização, o GP poderia ter sido maior na dieta peletizada mesmo equalizada ao consumo da farelada. Porém, a peletização não afetou a digestibilidade da MS, PB e EDI, o que pode explicar o GP e CA semelhantes.

Já quando a oferta de dieta peletizada foi reduzida a 95, 90 e 85% do controle, houve redução do GP, mas sem afetar a CA e CC. Teeter e Smith (1985) afirmam que o CR está correlacionado ($R^2 = 0.87$) a taxa de crescimento, no qual, ao avaliar restrição de 75% do CR em relação ao controle *ad libitum*, observaram redução no GP e CA semelhante.

A redução do CR a 85% do consumido pela dieta farelada à vontade resultou em animais com menor rendimento de carcaça. Teeter e Smith (1985) e Boostani et al. (2010) também observaram menor rendimento de carcaça em frangos submetidos a restrição alimentar. Sugere-se que quando a quantidade de alimento é limitada, os animais utilizam a energia consumida para manutenção, sobrando pouco para crescimento. Da mesma forma que no estudo de Saleh et al. (2005), a restrição alimentar não afetou o rendimento de peito, coxa e sobrecoxa e gordura.

Aves alimentadas com dieta peletizada à vontade apresentaram maior percentual de gordura abdominal, resultante possivelmente do maior CR. O excesso de energia consumida pelas aves foi depositado na forma de tecido adiposo. Diversos autores também observaram maior percentual de gordura abdominal em frangos que consumiram dietas peletizadas (PLAVNIK et al., 1997; MAIORKA et al., 2005; CORZO et al., 2011). Teeter e Smith (1985) ao forçar alimentação a 160% acima do consumido pelo tratamento à vontade observaram que as aves apresentaram 3 vezes mais gordura abdominal. Entretanto o fornecimento de dieta peletizada à vontade não melhorou o rendimento de carcaça e cortes. Resultados

contrários aos obtidos por Dozier et al. (2010) relataram maior peso e rendimento de carcaça e peito em frangos de corte alimentados com dietas peletizadas em relação às fareladas.

O fornecimento de dieta peletizada à vontade resultou em aves com maior deposição de PB e EE na carcaça. Diferenças nas deposições de gordura ou proteína estão relacionadas principalmente aos níveis de energia da dieta (BOEKHOLT et al., 1994). Ao aumentar o CR, as aves consumiram maior quantidade de energia diariamente o que pode ter influenciado a composição corporal. Bortoluzzi et al. (2013) avaliando níveis de 10, 20, 30 ou 40% de restrição em relação ao controle, verificaram que, em porcentagem, a gordura da carcaça diminuiu conforme se aumentou a restrição enquanto que a proteína bruta aumentou, o que está de acordo com os resultados obtidos no presente trabalho.

As aves alimentadas com dieta peletizada à vontade apresentaram 25 g de proteína e 36 g (corrigido para MS total) a mais de gordura na carcaça em relação às que receberam dieta farelada. Os resultados obtidos por Boekholt et al. (1994) indicam que a eficiência de deposição de proteína é menor que a de gordura. Estudando a partição de EM, Latshaw e Moritz (2009) observaram que dietas peletizadas aumentam o ganho de energia na carcaça e diminuem o incremento calórico. Assim, essa melhor eficiência de retenção da gordura pode relacionada ao fato da gordura gerar menor incremento calórico. McKinney e Teeter (2004) atribuíram o valor de 187 kcal EMn/kg de ração poupada em função do processo de peletização (100% de peletes fornecidos), observando que as aves apresentaram maior ganho final, ganho de gordura, ganho de tecido magro e ganho de energia líquida. Dessa forma, as melhorias proporcionadas na deposição de tecido magro e aumento do acúmulo de gordura podem estar associadas à energia poupada em função da maior facilidade de consumo proporcionado pela peletização, aumentando a frequência de descanso do animal e possibilitando o direcionamento da energia que seria gasta para consumir ração para ganho de peso. Jensen et al. (1962) afirmam que frangos de corte gastam até três vezes mais tempo para ingerir a mesma quantidade de ração farelada em relação à peletizada.

A peletização pode melhorar a digestibilidade dos nutrientes em função da exposição à umidade, pressão e temperatura empregadas neste processo. Esta

melhora é justificada principalmente pela gelatinização do amido (SKOCH et al., 1981; MORITZ et al., 2002; SVIHUS et al., 2004; ABDOLLAHI et al., 2010; ZHU et al., 2016), e pelo rompimento das pontes dissulfeto na estrutura das proteínas, promovendo desnaturação e facilitando a ação de enzimas (SCOTT et al., 1997). Contudo, diversos estudos têm mostrado que a peletização exerce pouco efeito sobre a disponibilidade dos nutrientes, enquanto que processamentos mais intensos como a expansão e extrusão, promovem maiores modificações nas estruturas dos ingredientes (SVIHUS et al., 2005; ZIMONJA et al., 2008). Ao fornecer a dieta peletizada na mesma quantidade da farelada, ou seja, isolando o fator consumo, não houve diferença nos parâmetros de digestibilidade, mostrando que o processo de peletização pode não ser suficiente para promover modificações nas frações dos ingredientes.

Além disso, o CR influencia diretamente os coeficientes de digestibilidade. Massuquetto et al. (2017, dados não publicados), avaliando diferentes níveis de energia em dietas peletizadas, observaram redução na digestibilidade da MS, PB, EB e amido em frangos de corte em relação aos alimentados com dietas fareladas. Os autores trabalharam com dietas com alto PDI (acima de 90%) devido à parte do óleo ter sido aplicado pós peletização, o que favoreceu ainda mais o consumo. Cabe salientar que apesar da digestibilidade das frações da dieta, muitas vezes, ser menor em dietas peletizadas, ao considerar o aumento de ração peletizada consumida, o aproveitamento dos nutrientes no período total pode ser proporcionalmente maior.

A restrição do consumo resultou em maior digestibilidade das frações. Scott e Siversides (2003) mostraram que a restrição alimentar diminui a taxa de passagem da digesta o suficiente para aumentar a digestibilidade. Teeter e Smith (1985) observaram aumento na digestibilidade da MS, PB, gordura e amido ao restringir o CR em 75% em relação às aves que receberam dieta *ad libitum*. Os autores também avaliaram o aumento do CR por meio de alimentação forçada e observaram redução acentuada na digestibilidade de todas as frações avaliadas ao passo que o CR aumentou para 125, 140 e 160% do consumo *ad libitum*. Svihus (2006; 2011) mostraram correlação negativa entre o CR e digestibilidade do amido e valor de EMA. O maior consumo de alimento pode aumentar a taxa de passagem da digesta

no TGI reduzindo o tempo de exposição à ação de enzimas e à absorção dos nutrientes na mucosa intestinal, o que pode explicar os maiores CDIA da MS, PB e EDI observados nos tratamentos restritos a 90 e 85% do controle.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam que o aumento no consumo de ração é um dos fatores mais importantes para que a peletização promova melhor desempenho. Dietas peletizadas fornecidas à vontade proporcionam maior deposição de proteína e gordura na carcaça, porém aumentam a quantidade de gordura abdominal, e não afetam a digestibilidade das frações. A restrição do consumo de ração resulta em menor ganho de peso, menor rendimento de carcaça e menor deposição de proteína, porém, melhora a digestibilidade das frações da dieta.

6. REFERÊNCIAS

ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; SVIHUS, B. Influence of grain type and feed form on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of nitrogen, starch, fat, calcium and phosphorus in broiler starters. **Animal Feed Science and Technology**, v.186, p.193-203, 2013.

ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; WESTER, T. J.; RAVINDRAN, G.; THOMAS, D. V. Influence of conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy, ileal digestibility of starch and nitrogen and the quality of pellets, in broiler starters fed maize and sorghum-based diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.162, p.106-115, 2010.

ASSOCIATION OF THE OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTS – AOAC. **Official and tentative methods of analysis**, 16.ed. Arlington, Virginia: AOAC International, 1995.

BEHNKE, K. Factors affecting pellet quality. In: Maryland Nutrition Conference, College of Agriculture, University of Maryland. **Proceedings...** p.44-54, 1994.

BOEKHOLT, H. A.; VAN DER GRINTEN, P. H.; SCHREUS.; LOS, M. J. N.; LEFFERING, C.P. Effect of dietary energy restriction on retention of protein, fat and energy in broiler chickens. **British Poultry Science**, v.35, p.603-614, 1994.

BOLTON, W. The digestibility of mash and pellets by chicks. **Journal Agriculture Science**, v.55, p.141-142, 1960.

BOOSTANI, A.; ASHAYERIZADEH, A.; MAHMOODIAN FARD, H. R.; KAMALZADEH, A. Comparison of the effects of several feed restriction periods to control ascites on performance, carcass characteristics and hematological indices of broiler chickens. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.12, p.171-177, 2010.

BORTOLUZZI, C.; FERNANDES, J. I. M.; CONTINI, J. P.; GURSKI, T. J.; ESSER, A. F. G.; PROKOSKI, K. Quantitative feed restriction from 35 to 42 days of age for broiler chickens. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, v.14, p.778-784, 2013.

CALET, C. The relative value of pellets versus mash and grain in poultry nutrition. **World Poultry Science Journal**, v.21, p.23-52, 1965.

COBB. Cobb 500 Broiler: Broiler performance and nutrition supplement, **Cobb-Vantress Inc.**, Siloam Springs, AR, 2013.

DOZIER, W. A.; BEHNKE, K. C.; GEHRING, C. K.; BRANTON, S. L. Effects of feed form on growth performance and processing yields of broiler chickens during a 42-day production period. **Journal Applied Poultry Research**, v.19, p.219–26, 2010.

CHEWNING, C. G.; STARK, C. R.; BRAKE, J. Effects of particle size and feed form on broiler performance. **Journal Applied of Poultry Research**, v.21, p.830-837, 2012.

CORZO, A.; MEJIA, L.; LOAR, I. I. R. E. Effect of pellet quality on various broiler production parameters. **Journal Applied of Poultry Research**, v.20, p.68–74, 2011.

FAIRFIELD, D. A. Pelleting for Profit - Feed and Feeding Digest. **National Grain and Feed Association Part 1**. v. 54, p.1-5, 2003.

JENSEN, L. S.; MERRILL, L. H.; REDDY, C. V.; MCGINNIS, J. Observations on eating patterns and rate of food passage of birds fed pelleted and unpelleted diets. **Poultry Science**, v.41, p.1414–1419, 1962.

LATSHAW, J. D. Daily energy intake of broiler chickens is altered by proximate nutrient content and form of the diet. **Poultry Science**, v.87, p.89–95, 2008.

LATSHAW, J. D.; MORITZ, J. S. The partitioning of metabolizable energy by broiler chickens. **Poultry Science**, v.88, p.98–105, 2009.

LECZNIESKI, J. L.; RIBEIRO, A. M. L.; KESSLER, A. M.; PENZ JR, A. M. Influência da forma física e do nível de energia da ração no desempenho e na composição de frangos de corte. **Arquivo Latinoamericano Produção Animal**, v.9, p.6-11, 2001.

MAIORKA, A.; DAHLKE, F.; PENZ JR, A. M., KESSLER, A. M. Diets formulated on total or digestible amino acid basis with different energy levels and physical form on broiler performance. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.7, p.47–50, 2005.

MASSUQUETTO, A.; DURAU, J. F.; SCHRAMM, V. G.; TEIXEIRA NETTO, M. V.; KRABBE, E. L.; MAIORKA, A. Influence of feed form and conditioning time on pellet quality, performance and ileal nutrient digestibility in broilers. **Journal Applied of Poultry Research**, v.27, p. 51-58, 2018.

MCKINNEY, L. J.; TEETER, R. G. Predicting effective caloric value of nonnutritive factors: I. Pellet quality and II. Prediction of consequential formulation dead zones. **Poultry Science**, v.83, p.1165-1174, 2004.

MCKINNEY, L. J. **Broiler growth models dynamically interfacing metabolic efficiency with the production environment**. PhD Diss. Oklahoma State University, 2005.

MEINERZ, C.; RIBEIRO, A. M. L.; PENZ JR, A. M.; KESSLER, A.M. Níveis de energia e peletização no desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte com oferta alimentar equalizada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.2026-2032, 2001.

MINGBIN, L.; LEI, Y.; ZHENGGUO, W.; SHA, A.; MIAOMIAO, W.; ZUNZHOU, L. Effects of feed form and feed particle size on growth performance, carcass characteristics and digestive tract development of broilers. **Animal Nutrition**, v.1, p. 252–256, 2015.

MORAN JR, E. T. Pelleting affects feed and its consumption. **Poultry Science**, v. 5, p.30–31, 1987.

MORITZ, J. S.; WILSON, K. J.; CRAMER, K. R.; BEYER, R. S.; MCKINNEY, L. J.; CAVALCANTI, B.; MO, X. Effect of formulation density, moisture, and surfactant on feed manufacturing, pellet quality, and broiler performance. **Journal Applied of Poultry Research**. v.11, p.155–163, 2002.

NIR, I.; TWINA, Y.; GROSSMAN, E.; NITSAN, Z. Quantitative effects of pelleting on performance, gastrointestinal tract and behaviour of meat-type chickens. **British Poultry Science**, v.35, p.589–602, 1994.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T.; EUCLIDES, R.F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos**. 3ª edição, Viçosa, MG: UFV, p.252, 2011.

ROZA, L. F.; TAVERNARI, F. C.; SUREK, D.; SORDIA, C.; ALBINO, L. F. T.; PAIANO, D.; BOIAGO, M. M.; PETROLI, T. G.; CUNHA JÚNIOR, A. Metabolizable energy and amino acid digestibility of mash and pelleted diets for broilers determined under diferente methodologies. **Animal Feed Science and Technology**, v.235, p.1-7, 2018.

SALEH, E. A.; WATKINS, S. E.; WALDROUP, A. L.; WALDROUP, P. W. Effects of early quantitative feed restriction on live performance and carcass composition of male broilers grown for further processing. **Journal Applied of Poultry Research**, v.14, p.87–93, 2005.

SCOTT, T. A.; SWIFT, M. L.; BEDFORD, M. R. The influence of feed milling, enzyme supplementation, and nutrient regimen on broiler chick performance. **Journal Applied of Poultry Research**, v.6, p.391-398, 1997.

SCOTT, T. A.; SILVERSIDES, F. G. Defining the effects of wheat type, water inclusion level, and wet–diet restriction on variability in performance of broilers fed wheat–based diets with added water. **Canadian Journal of Animal Science**, v.83, p.265–272, 2003.

SKINNER, J. T.; WALDROUP, A. L.; WALDROUP, P.W. Effects of dietary nutrient density on performance and carcass quality of broilers 42 to 49 days of age. **Journal Applied of Poultry Research**, v.1, p.367-372, 1992.

SKOCH, E. R.; BEHNKE K. C.; DEYOE C. W.; BINDER S. F. The effect of steam-conditioning rate on the pelleting process. **Animal of Feed Science and Technology**, v. 6, p.83-90, 1981.

SVIHUS, B., KLØVSTAD, K. H.; PEREZ, V.; ZIMONJA, O.; SAHLSTRÖM, S., SCHÜLLER, R. B.; JEKSRUD, W. K.; PRESTLØKKEN, E. Nutritional effects of pelleting of broiler chicken diets made from wheat ground to different coarsenesses by the use of roller mill and hammer mill. **Animal Feed Science and Technology**, v.117, p.281-293, 2004.

SVIHUS, B.; UHLEN, A. K.; HARSTAD. O. M. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v.122, p.303–320, 2005.

SVIHUS, B. The role of feed processing on gastrointestinal function and health in poultry. Pages 183–194 in **Avian Gut Function in Health and Disease**. G. C. Perry, ed. CAB International, Wallingford, UK, 2006.

SVIHUS, B. Limitations to wheat starch digestion in growing broiler chickens: A brief review. **Animal Production Science**, v.51, p.583–589, 2011.

TEETER, R. G.; SMITH, M. O. Feed intake effects upon gain, carcass yield, and ration digestibility in broilers force fed five feed intakes. **Poultry Science**, v.64, p.2155-2160, 1985.

VAN KEULEN, J.; YOUNG, B. A. Evaluation of acidinsoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. **Journal of Animal Science**, v.44, p.282-287, 1977.

ZATARI, I. M.; FERKET, P. R.; SCHIEDLER, S. E. Effect of pellet integrity, calcium lignosulfonate, and dietary energy on performance of summer-raised broiler chickens. **Poultry Science**, v.69, p.198, 1990.

ZELENKA, J. Effect of pelleting on digestibility and metabolizable energy values of poultry diets. **Czech Journal Animal Science**, v.48, p.239–242, 2003.

ZHU, L.; JONES, C.; GUO, Q.; LEWIS, L.; STARK, C. R.; ALAVI, S. An evaluation of total starch and starch gelatinization methodologies in pelleted animal feed. *Journal of Animal Science*, v.94(4), p. 1501-1507, 2016.

ZIMONJA, O.; HETLAND, H.; LAZAREVIC, N.; EDVARSEN, D. H.; SVIHUS, B. Effects of fiber content in pelleted wheat and oat diets on technical pellet quality and nutritional value for broiler chickens. **Canadian Journal of Animal Science**, v.88, p.613-622, 2008.

CAPÍTULO II - FORMA FÍSICA E NÍVEIS DE ENERGIA DA DIETA SOBRE O DESEMPENHO, RENDIMENTO DE CARCAÇA E DIGESTIBILIDADE EM FRANGOS DE CORTE

RESUMO

O experimento foi conduzido para avaliar a influência da forma física e do nível de energia da dieta sobre o desempenho, rendimento de carcaça e cortes, e digestibilidade da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), amido e energia bruta (EB) em frangos de corte. Foram utilizados 1152 frangos de corte machos *Cobb 500*, de 35 a 47 dias de idade, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4, sendo duas formas físicas (farelada ou peletizada) e quatro níveis de energia (3040, 3120, 3200 ou 3280 kcal/kg), com 8 repetições de 18 aves cada. Frangos de corte alimentados com a dieta de menor nível de energia (3040 kcal/kg) apresentaram o menor ganho de peso (GP) e a pior conversão alimentar (CA) ($P < 0,01$). À medida que se aumentou o nível de energia houve aumento do consumo energético (CE; $P < 0,01$), mas sem afetar a conversão calórica (CC; $P > 0,05$). Dietas peletizadas proporcionaram maior consumo de ração (CR), GP e CE ($P < 0,01$), e melhor CA e CC ($P < 0,05$) em comparação àqueles que receberam dietas fareladas. Em dietas fareladas, houve aumento linear do GP com o aumento da energia da dieta ($P < 0,01$) e melhora na CA ($P \leq 0,05$). Porém não se observou diferença no CR ($P > 0,05$). Já entre as dietas peletizadas, observou-se redução linear do CR ($P < 0,05$) e da CA ($P < 0,01$). Frangos alimentados com dietas peletizadas apresentaram maior quantidade de gordura abdominal em relação aos alimentados com dietas fareladas ($P < 0,05$). O aumento da energia da dieta resultou em pior coeficiente de digestibilidade ileal aparente (CDIA) da MS ($P < 0,01$) e do amido total ($P < 0,05$), mas não afetou a digestibilidade das demais frações da dieta. Frangos alimentados com dietas peletizadas apresentaram menor digestibilidade em todas as variáveis avaliadas em comparação com o grupo que recebeu dietas fareladas. A redução da energia da dieta por meio da diminuição da inclusão de óleo de soja e aumento de substância inerte proporcionou maior Índice de Durabilidade dos Peletes (PDI) ($P < 0,05$) e menor quantidade de finos ($P < 0,01$). De maneira geral, os resultados sugerem que dietas peletizadas promovem melhor desempenho em frangos de corte principalmente em função do maior CR, uma vez que a digestibilidade das frações da dieta é reduzida. Frangos que consomem dietas peletizadas de baixa energia aumentam o CR na tentativa de compensar o déficit energético. A redução da energia da dieta deve ser considerada especialmente quando fornecidas dietas peletizadas para reduzir custos de fabricação bem como melhorar a qualidade de carcaça de frangos de corte.

Palavras-chave: Energia. Frangos de corte. Inclusão de óleo. Peletização.

CHAPTER II - EFFECTS OF FEED FORM AND ENERGY LEVELS ON GROWTH PERFORMANCE, CARCASS YIELD AND NUTRIENT DIGESTIBILITY IN BROILERS.

ABSTRACT

This experiment was conducted to evaluate the influence of feed physical form and dietary metabolizable energy (ME) levels on broiler performance and carcass yield, and on the digestibility of dry matter (DM), crude protein (CP), starch, and gross energy (GE). In total, 1152 male Cobb 500 broilers were evaluated between 35 and 47 days of age. Birds were distributed according to a completely randomized design in a 2 x 4 factorial arrangement, consisting of two feed forms (mash or pellet) and four ME levels (3040, 3120, 3200 or 3280 kcal/kg), totaling eight treatments with eight replicates of 18 birds each. Broilers fed the lowest ME level (3040 kcal/kg) presented the lowest weight gain (WG) and worst feed per unit gain ($P < 0.01$). ME intake increased ($P < 0.01$) with progressive increments of ME, which, however, did not affect caloric conversion (CC, $P > 0.05$). Pelleted diets promoted higher feed intake (FI), WG, ME intake ($P < 0.01$), and better feed per unit gain and CC ($P < 0.05$) than mash diets. In mash diets, increasing dietary ME levels promoted a linear increase in WG ($P < 0.01$) and reduced feed per unit gain ($P \leq 0.05$). But did not affect FI ($P > 0.05$). In pelleted diets, on the other hand, increasing ME levels linearly reduced FI ($P < 0.05$) and feed per unit gain ($P < 0.01$). Broilers fed pelleted diets presented higher abdominal fat deposition than those fed mash ($P < 0.05$). Increasing ME levels reduced the coefficients of ileal apparent digestibility (CIAD) of DM ($P < 0.01$) and total starch ($P < 0.05$), but did not affect the digestibility of the other evaluated nutrients. The digestibility of all analyzed nutrients was lower when pelleted diets were fed compared with mash. Increasing inert material inclusion in the diets at the expense of soybean oil to reduce dietary ME levels promoted higher Pellet Durability Index (PDI) values ($P < 0.05$), and the percentage of fines ($P < 0.01$). Overall, the results suggest that pelleted diets promote better broiler performance because they increase FI, since the digestibility of dietary fractions is reduced. Chickens consuming low-energy pelleted diets increase FI in an attempt to compensate for energy deficit. Particularly when feeding pelleted diets, dietary energy reduction should be considered to reduce feed costs and to improve the carcass quality of broilers.

Keywords: Broiler. Fat. Metabolizable energy. Oil inclusion. Pelleting.

1. INTRODUÇÃO

A peletização é uma etapa do processamento de rações no qual os ingredientes ou mistura são aglomerados por meio de ação mecânica, em combinação com umidade, pressão e temperatura. No final do processo, as partículas dos ingredientes são aglomeradas formando estruturas maiores denominadas peletes.

Existem diversas justificativas para a implantação do processo de peletização de dietas para frangos de corte, destacando-se o aumento de consumo (SVIHUS, 2004), uma vez que o fator que mais impacta no ganho de peso corporal é o consumo de ração (MOREL et al., 2001). Calet (1965) e Meinerz et al. (2001) afirmam que o maior efeito da peletização é proporcionar às aves maior consumo de alimento. Abdollahi et al. (2013) reportaram aumento de 27% no CR em frangos de corte (1-21d) alimentados com dietas peletizadas à base de milho.

O maior consumo de dietas peletizadas pode ocorrer devido a maior facilidade de apreensão da dieta (JENSEN et al., 1962). As aves apresentam maior preferência por partículas maiores em detrimento das menores (MORAN, 1982; NIR et al., 1994; NIR e PTICHI, 2001) o que favorece o consumo.

Além da importância da forma física, os níveis nutricionais da dieta podem afetar diretamente o consumo. A regulação do consumo de alimento em aves em função do nível de energia da dieta já foi reportada em diversos trabalhos (LEESON et al. 1996, PLUMSTEAD et al., 2007; RICHARDS e PROSZKOWIEC-WEGLARZ, 2007), porém os resultados são bastante contraditórios, uma vez que o consumo de alimento é regulado por meio de mecanismos fisiológicos complexos. A manutenção da homeostase energética é o somatório de uma ampla gama de estímulos externos (e.g condições climáticas) e internos que, por sua vez, afetam a ingestão de nutrientes (CLASSEN, 2016).

O efeito do nível de energia da dieta sobre o consumo de ração pode ser influenciado pela forma física da dieta. Lecznieski et al. (2001) observaram que os efeitos da peletização foram menores à medida que se aumentou o nível de energia das dietas (2800 a 3200 kcal/kg), ou seja, o consumo de dietas peletizadas foi maior do que o de fareladas nos níveis energéticos abaixo de 3100 kcal, demonstrando a

interação entre a forma física da dieta e o nível de energia. Em contrapartida, Dozier et al. (2011) avaliaram dietas para frangos de corte (36-47d) com níveis de EM corrigida para nitrogênio de 3140 a 3240 kcal/kg e não observaram diferença significativa para CR. Porém, os autores relataram melhora no GP e na CA com o aumento no nível de energia.

A determinação do nível de energia é uma das decisões mais importantes na formulação rações para otimizar o desempenho, a qualidade de carcaça, a eficiência produtiva e a viabilidade econômica. Uma vez que as aves alimentadas com dietas peletizadas apresentam maior CR do que aquelas que consomem dietas fareladas e podem apresentar maior deposição de gordura abdominal a um mesmo nível de energia dietética (MAIORKA et al., 2005), o ajuste no nível energético da dieta pode ser usado como ferramenta para diluir custos na formulação e aumentar o rendimento de carne magra.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da forma física e do nível de energia da dieta sobre o desempenho, rendimento de carcaça e cortes, e digestibilidade das frações da dieta em frangos de corte.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 COMPOSIÇÃO E FABRICAÇÃO DAS DIETAS

As dietas fornecidas às aves foram à base de milho e farelo de soja, variando de acordo com a forma física (farelada ou peletizada) e diferentes níveis de energia (3040, 3120, 3200 ou 3280 kcal/kg) conforme apresentado na tabela 1. Os diferentes níveis de energia dos tratamentos foram obtidos por meio da inclusão de óleo de soja e de um componente inerte (caulim). Para garantir a homogeneidade entre os tratamentos com o mesmo nível de energia, foi feita uma batelada de ração para cada nível sendo que metade compôs a dieta farelada e a outra metade foi encaminhada para peletizar. A fim de manter a integridade dos peletes semelhante entre as dietas, realizou-se a adição de 1,75% de óleo de soja no misturador em todas as dietas. Para completar a quantidade de óleo necessário para atingir o nível de energia de cada tratamento, o restante do óleo foi remisturado em misturador

vertical nas dietas fareladas. Já nas peletizadas, a adição de óleo ocorreu por aspersão pós-peletização.

Para a fabricação das dietas peletizadas, foi utilizada a peletizadora a vapor (Koppers Júnior C40 - Koppers Company, Inc. Pittsburgh, PA, USA), com motor de 50 CV da marca Siemens e anel com furos de diâmetro de 3/16 polegadas. O tempo de condicionamento foi de 10 segundos com temperatura de 75°C. Após o processo de peletização as dietas foram secas e resfriadas a temperatura média de 37°C. Ao término do processo de manufatura, amostras de cada tratamento foram coletadas para realização das análises físico-químicas.

Tabela 1. Composição calculada (%) das dietas experimentais.

Ingredientes (%)	Nível de energia (kcal/kg dieta)			
	3040	3120	3200	3280
Milho	58,216	58,216	58,216	58,216
Farelo de soja	30,627	30,627	30,627	30,627
Óleo de soja ¹	4,309	5,222	6,134	7,047
Caulim	3,000	2,087	1,175	0,262
Celite ²	1,000	1,000	1,000	1,000
Fosfato bicálcico	1,019	1,019	1,019	1,019
Calcário calcítico	0,804	0,804	0,804	0,804
Sal (NaCl)	0,381	0,381	0,381	0,381
Premix mineral ³	0,050	0,050	0,050	0,050
Premix vitamínico ⁴	0,080	0,080	0,080	0,080
L-lisina	0,207	0,207	0,207	0,207
DL- metionina	0,224	0,224	0,224	0,224
L-treonina	0,072	0,072	0,072	0,072
Antioxidante ⁵	0,010	0,010	0,010	0,010
Valores calculados (%)				
EM (kcal/kg dieta)	3040	3120	3200	3280
Proteína Bruta	18,226	18,226	18,226	18,226
Cinza	4,694	3,800	2,905	2,010
Gordura	6,912	7,825	8,737	9,651
Cálcio	0,638	0,638	0,638	0,638
Fósforo Total	0,533	0,533	0,533	0,533
Fósforo disponível	0,300	0,300	0,300	0,300
Sódio	0,160	0,160	0,160	0,160
Lisina Dig.	1,010	1,010	1,010	1,010
Metionina Dig.	0,458	0,458	0,458	0,458
Met. + cisteína Dig.	0,737	0,737	0,737	0,737
Treonina Dig.	0,656	0,656	0,656	0,656
Triptofano Dig.	0,194	0,194	0,194	0,194

¹ 1,75 % de óleo de soja por kg foi adicionado na massa em todos os tratamentos e, para completar o valor energético, o restante foi adicionado por aspersão. Assumiu-se EMAn de 8800 kcal/kg de óleo de soja.

² Celite® 400 (Celite Corporation – México)

³ Suplementado por kg de premix: cobre 20 g, ferro 100 g, manganês 160 g, cobalto 200000 mg, iodo 200000 mg e zinco 100 g.

⁴ Suplementado por kg de premix: vit. A 9.000,000 UI, vit D3 2.500,000 UI, vit E 200,000 UI, vit K3 2500 mg, vit B1 1500 mg, vit B2 6000 mg, vit B6 3000 mg, vit B12 12000 mg, ácido pantotênico 12 g, niacina 25 g, ácido fólico 800 mg, biotina 60 mg e selênio 250 mg.

⁵ Hidroxitolueno butilado (B.H.T 98, Cargill, Inc.)

2.2. ANIMAIS E INSTALAÇÕES

Todos os procedimentos realizados foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal do Paraná (UFPR), sob protocolo nº 020/2015. Foram utilizados 1152 frangos de corte machos da linhagem comercial *Cobb 500*, oriundos de incubatório comercial, de 35 a 47 dias de idade. Aos 35 dias, os frangos apresentavam peso médio de 2135 ± 50 g. As aves foram alojadas em boxes de 1,65 m de comprimento e 1,25 m de largura, sobre cama de maravalha de pinos, equipados com bebedouros *nipple* e comedouros tubulares.

No período que antecedeu o fornecimento das dietas experimentais, os animais receberam uma dieta padrão farelada até os 34 dias, formulada para atender os seus requerimentos nutricionais de acordo com Rostagno et al. (2011). As aves receberam água e ração *ad libitum*. A temperatura foi mantida próxima a 32°C nos primeiros dias e reduzida gradativamente até 18°C na fase final. Durante os 10 primeiros dias foi utilizada luz incandescente contínua (24 h) e após esse período foi utilizado programa de luz com 9 horas de escuro por dia.

2.3 QUALIDADE FÍSICA

A fim de determinar a quantidade de finos das dietas peletizadas, oito amostras de 200 g foram pesadas, peneiradas em peneira com abertura de 4 mm por 30 segundos, e a ração que permaneceu na peneira foi novamente pesada para calcular a porcentagem de peletes intactos e conseqüentemente de finos. Para calcular o Índice de Durabilidade dos Peletes (PDI) as oito amostras de cada tratamento, sem finos, foram submetidas a tombamento durante 10 minutos e rotação de 50 rpm. A análise de dureza foi realizada em durômetro (Nova Ética®, modelo 298 DGP - Ethiktechnology, São Paulo, Brazil) com peletes individuais (cinco por tratamento).

2.4 DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E RENDIMENTO DE CARCAÇA

Aos 35 e 47 dias de idade, todas as aves dos boxes e as sobras de ração nos comedouros foram pesados para determinar o consumo de ração (CR), ganho

de peso (GP) e conversão alimentar (CA), conversão calórica (CC) e consumo de energia (CE). A mortalidade foi verificada diariamente.

No 47º dia, uma ave de cada unidade experimental foi eutanasiada para medição do rendimento de carcaça e de cortes. Após a remoção das penas, cabeça, pés e vísceras, as carcaças foram lavadas e resfriadas durante 60 minutos a 2°C. A carcaça e os cortes (peito, coxa + sobrecoxa e gordura) foram pesados para determinar o rendimento.

2.5 DIGESTIBILIDADE

No 47º dia de criação, duas aves por unidade experimental foram eutanasiadas por deslocamento cervical para coleta de conteúdo ileal e realização das análises de digestibilidade. As aves foram evisceradas e a porção do íleo separada para retirada e homogeneização do conteúdo ileal. O material foi congelado, liofilizado e moído para realização das análises laboratoriais.

As rações e o conteúdo ileal foram moídos a 1 mm e analisados quanto ao teor de matéria seca após secagem em estufa a 105°C por 12 horas, e proteína bruta (método 954.01) de acordo com a AOAC (1995). A quantidade de amido disponível e total foi determinada utilizando o método 996.11 da AOAC adaptado por Walter et al. (2005). O conteúdo de energia bruta foi determinado em bomba calorimétrica (Ika Werke C2000 Control Oxygen Bomb Calorimeter - Ika-Werke GmbH&Co, Staufen, Germany). A cinza insolúvel em ácido foi utilizada como marcador indigestível para os cálculos de digestibilidade, e determinada de acordo com a metodologia descrita por Van Keulen e Young (1977).

Os coeficientes de digestibilidade ileal aparente (CDIA) das frações da dieta foram estimados de acordo com as equações abaixo:

$$CDIA \text{ da fração da dieta} = \frac{(\text{fração na dieta}) - (\text{fração no conteúdo ileal} \times FI)}{\text{fração na dieta}}$$

No qual (FI) é a razão entre a CIA da dieta e a CIA no conteúdo ileal.

2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4, sendo duas formas físicas (farelada ou peletizada) e quatro níveis crescentes de energia (3040, 3120, 3200 ou 3280 kcal/kg), com 8 repetições de 18 aves cada.

Os dados obtidos foram primeiramente submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk). Posteriormente, os dados foram submetidos à ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Adicionalmente, foi realizada regressão linear entre os níveis de energia nas dietas fareladas e peletizadas.

3. RESULTADOS

3.1 QUALIDADE FÍSICA

O aumento da energia da dieta proporcionou redução do PDI ($P < 0,05$) e aumento da quantidade de finos ($P < 0,01$) conforme apresentado na tabela 2. Não houve efeito dos tratamentos sobre a dureza dos peletes ($P > 0,05$).

Tabela 2. Quantidade de finos, Índice de Durabilidade dos Peletes (PDI) e dureza de dietas peletizadas com diferentes níveis de energia.

Nível de energia (kcal/kg)	Finos (%)	PDI (%)	Dureza kgf/cm ²
3040	4,27	93,70	6,50
3120	4,74	92,10	6,18
3200	5,70	90,90	5,39
3280	6,43	90,30	6,03
EPM ¹	0,210	0,446	0,164
Linear	$<0,001^2$	$0,024^3$	0,455
Quadrática	0,914	0,922	0,466

¹ EPM = Erro padrão da média.

² $Y = 0,0093x - 24,178$; $R^2 = 0,8298$

³ $Y = y = -0,0143x + 136,78$; $R^2 = 0,4289$

3.2 DESEMPENHO

Não houve interação ($P > 0,05$) entre a forma física da dieta e o nível de energia para qualquer variável de desempenho estudada (Tabela 3). O CR não foi influenciado pelos níveis de energia da dieta ($P > 0,05$). Frangos de corte alimentados

com a dieta de menor nível de energia (3040 kcal/kg) apresentaram o menor GP e a pior CA ($P<0,001$). À medida que se aumentou o nível de energia houve aumento do CE ($P<0,01$), mas sem afetar a CC ($P>0,05$).

Ao analisar somente o efeito da forma física, frangos alimentados com dietas peletizadas apresentaram maior CR e GP ($P<0,01$), e melhor CA ($P<0,05$) em comparação àqueles que receberam dietas fareladas. Com a peletização houve consumo de cerca de 790 kcal a mais ($P<0,01$) e 2% de redução na conversão calórica ($P<0,05$) em relação à dieta farelada.

Ao avaliar o efeito da energia somente em dietas fareladas, houve aumento linear do GP com o aumento da energia da dieta ($P<0,01$) e melhora na CA ($P\leq 0,05$). Porém não se observou diferença no CR ($P>0,05$). Já entre as dietas peletizadas observou-se redução linear do CR e da CA ($P<0,01$), mas não houve efeito sobre o GP ($P>0,05$).

Tabela 3. Consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), consumo energético (CE) e conversão calórica (CC) de frangos de corte de 35 a 47 dias de idade alimentados com dietas fareladas ou peletizadas com diferentes níveis de energia.

Forma física	Nível de energia (kcal/kg)	CR (g)	GP (g)	CA (g/g)	CE (kcal/kg)	CC (kcal/kg)
Farelada	3040	2494	1288	1,939	7583	5894
	3120	2479	1335	1,857	7734	5793
	3200	2484	1345	1,847	7948	5910
	3280	2499	1378	1,814	8196	5949
Peletizada	3040	2794	1471	1,901	8495	5778
	3120	2772	1510	1,835	8648	5726
	3200	2732	1516	1,803	8741	5769
	3280	2660	1505	1,767	8724	5796
EPM ¹		19,692	12,040	0,0101	64,063	25,895
Médias (efeito principal)						
Nível de energia (kcal/kg)		CR (g)	GP (g)	CA (g/g)	CE (kcal/kg)	CC (kcal/kg)
3040		2644	1380 ^b	1,920 ^a	8039 ^c	5836
3120		2625	1423 ^a	1,848 ^b	8191 ^{bc}	5760
3200		2608	1431 ^a	1,825 ^b	8345 ^{ab}	5840
3280		2579	1442 ^a	1,790 ^b	8460 ^a	5873
Forma física						
Farelada		2489	1337	1,865	7865	5887
Peletizada		2739	1501	1,826	8652	5767
Probabilidade						
Nível de energia		0,176	<0,001	<0,001	<0,001	0,462
Forma física		<0,001	<0,001	0,012	<0,001	0,024
Energia * forma		0,091	0,173	0,854	0,151	0,937
Regressão						
Farelada		0,999	<0,001 ²	0,051 ³	<0,001 ⁴	0,918
Peletizada		<0,01 ⁵	0,392	<0,001 ⁶	0,257	0,984

a-b Letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05)

¹ EPM = Erro padrão da média.

² Y = 0,3516x + 225,53; R² = 0,457

³ Y = -0,0005x + 3,543; R² = 0,446

⁴ Y = 2,393x + 337,76; R² = 0,553

⁵ Y = -0,556x + 4496,4; R² = 0,329

⁶ Y = -0,0005x + 3,5368; R² = 0,5134

3.3 RENDIMENTO DE CARÇAÇA

Não houve interação (P>0,05) entre as variáveis analisadas para qualquer variável avaliada (Tabela 4). O rendimento de carcaça, peito e coxa e sobrecoxa não foram afetados pela forma física da dieta (P>0,05), porém as aves alimentadas com

dietas peletizadas apresentaram maior quantidade de gordura abdominal ($P < 0,05$). O aumento da energia da dieta não influenciou o rendimento de carcaça e cortes ($P < 0,05$).

Tabela 4. Rendimento de carcaça e cortes (%) de frangos de corte aos 47 dias de idade alimentados com dietas fareladas ou peletizadas com diferentes níveis de energia.

Forma física	Níveis de energia (kcal/kg)	Carcaça	Peito	Coxa + sobrecoxa	Gordura abdominal
Farelada	3040	79,80	37,51	27,31	1,16
	3120	80,35	37,71	26,72	1,48
	3200	80,64	37,98	26,27	1,43
	3280	80,30	36,51	27,30	1,44
Peletizada	3040	79,75	36,68	27,55	1,51
	3120	80,09	37,71	26,42	1,68
	3200	79,57	37,31	26,93	1,60
	3280	79,92	36,55	26,74	1,86
EPM ¹		0,192	0,174	0,402	0,053
Médias efeito principal					
Níveis de energia (kcal/kg)		Carcaça	Peito	Coxa + sobrecoxa	Gordura abdominal
3040		79,77	37,10	27,43	1,34
3120		80,22	37,71	26,57	1,58
3200		80,11	37,65	26,60	1,51
3280		80,11	36,53	27,02	1,65
Forma física					
Farelada		80,27	37,43	26,90	1,38
Peletizada		79,83	37,06	26,91	1,66
Probabilidade					
Nível de energia		0,871	0,060	0,099	0,155
Forma física		0,271	0,290	0,959	0,006
Energia * forma		0,823	0,723	0,440	0,791
Regressão					
Linear		0,942	0,594	0,994	0,637
Quadrática		0,927	0,327	0,203	0,742

¹ EPM = Erro padrão da média.

3.4 DIGESTIBILIDADE

Não houve interação ($P > 0,05$) entre a forma física e o nível de energia na dieta para qualquer variável de digestibilidade (Tabela 5). O aumento da energia da

dieta resultou em maior CDIA da MS ($P<0,01$) e do amido total ($P<0,05$), ao passo que a digestibilidade da EB foi melhor nos animais alimentados com a dieta de 3200 kcal/kg em relação às demais. Não houve efeito dos tratamentos na digestibilidade das demais frações da dieta ($P>0,05$; Tabela 5). Frangos alimentados com dietas peletizadas apresentaram menor digestibilidade em todas as variáveis avaliadas ($P<0,05$). Ao avaliar a digestibilidade das frações somente em dietas fareladas, houve aumento linear no CDIA da MS ($P<0,01$), amido disponível e amido total ($P<0,05$) à medida que se aumentou o nível de energia da dieta. Já nas dietas peletizadas, houve aumento linear do CDIA da MS ($P=0,05$).

Tabela 5. Coeficiente de digestibilidade ileal aparente (CDIA; %) da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), amido disponível (AD), amido total (AT) e da energia bruta (EB) de frangos de corte aos 47 dias de idade alimentados com dietas fareladas ou peletizadas com diferentes níveis de energia.

Forma física	Níveis de energia (kcal/kg)	CDIAMS	CDIAPB	CDIAD	CDIAT	CDIAEB
Farelada	3040	78,45	88,87	95,54	94,38	83,34
	3120	79,93	88,90	94,77	93,83	83,82
	3200	80,34	88,16	96,27	95,45	85,10
	3280	82,55	89,35	97,39	96,40	85,91
Peletizada	3040	75,53	84,00	95,11	93,76	83,35
	3120	76,39	85,38	94,83	93,39	80,31
	3200	78,92	87,87	95,16	94,09	84,05
	3280	78,51	85,79	95,49	94,38	82,38
EPM ¹		0,346	0,362	0,222	0,228	0,305
Médias (efeito principal)						
Nível de energia (kcal/kg)		CDIMS	CDIPB	CDIAD	CDIAT	CDIEB
3040		76,99 ^c	86,43	95,32	94,07 ^{ab}	83,34 ^{ab}
3120		78,16 ^{bc}	87,14	94,80	93,61 ^b	82,06 ^b
3200		79,63 ^{ab}	88,02	95,72	94,77 ^{ab}	84,58 ^a
3280		80,53 ^a	87,57	96,44	95,39 ^a	84,15 ^{ab}
Forma física						
Farelada		80,32	88,82	95,99	95,02	84,54
Peletizada		77,34	85,76	95,15	93,91	82,52
Probabilidade						
Nível de energia		<0,001	0,335	0,061	0,026	0,026
Forma física		<0,001	<0,001	0,049	0,011	<0,01
Energia * forma		0,359	0,072	0,411	0,551	0,090
Regressão						
Farelada		<0,01 ²	0,996	0,028 ³	0,013 ⁴	0,09
Peletizada		0,05 ⁵	0,463	0,971	0,874	0,997

a-c Letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05)

¹ EPM = Erro padrão da média.

² Y = 0,0158x + 30,406 R² = 0,305

³ Y = 0,0089x + 67,754; R² = 0,213

⁴ Y = 0,0097x + 64,457; R² = 0,250

⁵ Y = 0,0142x + 32,398; R² = 0,173

4. DISCUSSÃO

A redução da energia da dieta proporcionou maior qualidade física das dietas. O aumento da durabilidade dos peletes pode ter ocorrido em função da inclusão do componente inerte caulim, uma vez que a adição de óleo no misturador foi à mesma em todos os tratamentos (1,75%). O caulim é constituído

predominantemente por caulinita, um aluminossilicato hidratado (argilo-mineral) que apresenta grande capacidade de adsorção de água e, portanto, pode ser utilizado como aglutinante para melhorar a qualidade dos peletes. Thomas e Van Der Poel (1996) destacaram a importância das argilas como substâncias que promovem adesão e coesão entre as partículas e da presença de água para ativação de suas propriedades aglutinantes. A água adicionada na forma de vapor durante o condicionamento da ração pode ter favorecido a ação aglutinante do caulim promovendo maior adesão entre as partículas dos ingredientes e, assim, melhorando a durabilidade dos peletes.

Os efeitos positivos da peletização sobre o desempenho em frangos de corte são amplamente reportados na literatura. Dentre os fatores que motivam o fornecimento de dietas peletizadas destacam-se o aumento de consumo proporcionado pela facilidade de apreensão da dieta (JENSEN et al. 1962), diminuição do desperdício (JENSEN, 2000) e melhora na eficiência produtiva (MCKINNEY e TEETER, 2004). Lecznieski et al. (2001) observaram que frangos de corte que receberam dieta peletizada apresentaram CR 2% superior àqueles alimentados com dieta farelada. Os autores reportaram aumento no consumo energético (196 kcal) e melhora de aproximadamente 5% na conversão calórica, o que está de acordo com os resultados obtidos no presente trabalho.

O nível de energia da dieta pode estar associado à regulação do consumo em aves. No presente trabalho, ao avaliar o efeito da energia somente em dietas fareladas, houve aumento linear do GP com o aumento da energia da dieta e melhora na CA. Porém não se observou diferença no CR ($P > 0,05$). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Leeson et al. (1996) que também observaram aumento linear do GP a medida que se aumentou a energia da dieta de 1950 a 3200 kcal/kg. Porém, os autores observaram aumento linear no CR com a redução progressiva da energia da dieta. No presente estudo, as aves que receberam a dieta farelada não conseguiram regular o consumo mesmo com variação de 240 kcal entre os tratamentos extremos. Os frangos podem ter atingido o limite máximo de ingestão possivelmente em função da maior dificuldade no processo de apreensão do alimento (JENSEN et al., 1962) e da baixa quantidade de saliva produzida, de 7 a 30 ml por dia (TRAMPEL e DUKE, 2004). Além disso, frangos de corte gastam mais

tempo consumindo ração farelada e apresentam menor frequência de descanso em comparação àquelas que consomem dietas peletizadas (MCKINNEY e TEETER, 2004; SKINNER-NOBLE et al. 2005).

Da mesma forma que no estudo de Lecznieski et al. (2001), os frangos alimentados com dietas peletizadas demonstraram habilidade de regular o consumo aumentando-o em dietas de baixo nível energético para manter seu crescimento. Em concordância, Dozier et al. (2011) realizaram experimento com dietas peletizadas variando a energia de 3140 a 3240 kcal/kg e também observaram redução linear no CR e CA com o aumento da energia, e resposta quadrática para GP. Saleh et al. (2004) não observaram diferença no GP em frangos de corte até 49 d de idade alimentados com dietas de 3325 a 3445 kcal/kg, o que está de acordo com os resultados obtidos neste trabalho.

Frangos de corte alimentados com dietas de baixa energia apresentam menor GP e CA melhor do que animais alimentados com dietas de alta densidade energética a fim de atingir sua máxima resposta de desempenho (LEESON et al., 1996; SALEH et al., 2004.; DOZIER et al., 2011). No presente trabalho, os animais alimentados com a dieta de 3040 kcal/kg apresentaram os piores resultados de desempenho, corroborando com os resultados encontrados na literatura.

O rendimento de carcaça, peito e coxa e sobrecoxa não foram afetados pela forma física da dieta. Resultados semelhantes aos obtidos por Mingbin et al. (2015) que afirmam que a forma física da dieta não promove efeitos significativos no rendimento de carcaça e cortes em frangos de corte. Por outro lado, Dozier et al. (2010) relataram maior peso e rendimento de carcaça e peito em frangos de corte alimentados com dietas peletizadas em relação às fareladas. Aves alimentadas com dietas peletizadas apresentaram aumento de 20% na quantidade de gordura abdominal, possivelmente devido ao aumento no CR proporcionado pela peletização. Assim, o excesso de energia consumida pelas aves foi depositado na forma de tecido adiposo. Diversos autores também observaram maior percentual de gordura abdominal em frangos que consumiram dietas peletizadas (PLAVNIK et al., 1997; MAIORKA et al., 2005; CORZO et al., 2011).

O aumento da energia da dieta não influenciou o rendimento de carcaça e dos cortes, corroborando com os resultados obtidos por Dozier et al. (2011). A

quantidade de gordura abdominal não se alterou com o aumento da energia da dieta. Já Leeson et al. (1996) demonstraram que frangos de corte alimentados com dietas contendo níveis crescentes de energia apresentam maior percentual de gordura abdominal, aumentando progressivamente de 2,7% na dieta de menor energia (1950 kcal/kg) para 3,2 % na dieta de maior energia (3200 kcal/kg).

A peletização resultou em diminuição da digestibilidade de todas as frações da dieta avaliadas. No presente trabalho, considerando somente o efeito da forma física, houve aumento de 10% no consumo de ração em frangos alimentados com dietas peletizadas em comparação às fareladas. É importante destacar que as dietas peletizadas possuíam alto PDI (acima de 90%) o que favoreceu ainda mais o consumo de ração. A quantidade de alimento na moela e intestino está associada ao fluxo da digesta (SUNDU et al., 2008). Por sua vez, a digestão e absorção de nutrientes podem ser influenciadas pela taxa de passagem ao longo do TGI (DUKE, 1986). Scott e Silversides (2003) mostraram que a restrição alimentar diminui a taxa de passagem da digesta o suficiente para aumentar a digestibilidade. O maior consumo observado no presente trabalho pode ter aumentado a taxa de passagem da digesta no TGI reduzindo o tempo de exposição à ação de enzimas e à absorção dos nutrientes na mucosa intestinal, o que pode explicar a redução na digestibilidade das frações da dieta. Estudos mostram correlação negativa entre o CR e digestibilidade do amido e valor de EMA (SVIHUS, 2006, 2011). No estudo de Svihus (2011) no qual o aumento do CR resultou em redução da digestibilidade do amido, o autor sugere que o consumo elevado de ração pode levar a uma taxa de passagem excessivamente rápida, reduzindo a digestibilidade do amido. O maior CDIA da MS, EB e do amido total verificados nas dietas de maior energia pode também ter sido decorrente da redução no consumo de ração. Ainda que a digestibilidade das frações tenha sido reduzida, os animais alimentados com dietas peletizadas apresentaram maior GP e melhor CA.

No presente trabalho, ao observar somente o efeito da forma física o CR aumentou de 2489 g em dietas fareladas para 2739 g nas peletizadas. Se considerarmos que o coeficiente de digestibilidade da MS nas dietas fareladas foi de aproximadamente 80% e de 77% nas dietas peletizadas, a utilização da MS em relação ao consumo total de ração durante o experimento foi de 1991 g e 2109 g,

respectivamente. Ao utilizar como exemplo a digestibilidade do amido total, houve redução na digestibilidade de 95% nas dietas fareladas para 94% em dietas peletizadas. Porém, se analisarmos o valor de digestibilidade em relação ao que foi consumido e aproveitado da MS no período total, obtém-se uma diferença no amido total que foi efetivamente absorvido no intestino de 1891 g de amido em dietas fareladas para 1982 g de amido em dietas peletizadas. Sendo assim, ainda que a digestibilidade das frações da dieta tenha sido menor em dietas peletizadas, ao considerar o aumento de 250 g a mais de ração peletizada consumida, o aproveitamento dos nutrientes no período total pode ter sido maior. Além disso, Scott (2005) afirma que as aves domésticas maximizam o CR para manter o crescimento e não necessariamente para maximizar digestão. Com o aumento do crescimento, há uma diminuição substancial nos requerimentos de manutenção, o que compensaria as perdas associadas à menor absorção de nutrientes.

5. CONCLUSÃO

Frangos de corte alimentados com dietas peletizadas apresentam maior consumo de ração, ganho de peso e melhor conversão alimentar independente do nível de energia da dieta. Porém, o alto consumo proporcionado pelas dietas peletizadas reduz a digestibilidade das frações da dieta. Em dietas peletizadas, quando há redução do nível de energia da dieta, os frangos aumentam seu consumo em uma tentativa de compensar o déficit energético. A redução do nível de energia permite a diminuição do percentual de gordura abdominal na carcaça. A diminuição do nível energético em dietas peletizadas consiste numa importante ferramenta diluidora de custos com alimentação, que representam mais de 70% do custo de produção de frangos de corte.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF THE OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official and tentative methods of analysis**, 16.ed. Arlington, Virginia: AOAC International, 1995. ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; SVIHUS, B. Influence of grain type and feed form on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of

nitrogen, starch, fat, calcium and phosphorus in broiler starters. **Animal Feed Science and Technology**, v.186, p.193-203, 2013.

ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; WESTER, T. J.; RAVINDRAN, G.; THOMAS, D. V. Influence of feed form and conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broiler starters fed wheat-based diet. **Animal Feed Science and Technology**, v.168, p.88-99, 2011.

ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; WESTER, T. J.; RAVINDRAN, G.; THOMAS, D. V. Influence of conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy, ileal digestibility of starch and nitrogen and the quality of pellets, in broiler starters fed maize and sorghum-based diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.162, p. 06–115, 2010.

CALET, C. The relative value of pellets versus mash and grain in poultry nutrition. **World Poultry Science Journal**, v.21, p.23-52, 1965.

CLASSEN, H. L. Diet energy and feed intake in chickens. **Animal Feed Science and Technology**, 2016.

DOZIER, W. A.; GEHRING, C. K.; CORZO, A.; OLANREWAJU, H. A. Apparent metabolizable energy needs of male and female broilers from 36 to 47 days of age. **Poultry Science**, v.90, p.804-814, 2011.

DOZIER, W. A.; BEHNKE, K. C.; GEHRING, C. K.; BRANTON, S. L. Effects of feed form on growth performance and processing yields of broiler chickens during a 42-day production period. **Journal Applied of Poultry Research**, v.19, p.219–226, 2010.

DUKE, G. E. Alimentary canal: Anatomy, regulation of feeding and motility. In: **Avian Physiology**. Ed: P.D. Sturkie. New York, Springer Verlad, p. 269-288, 1986.

JENSEN, L. S.; MERRILL, L. H.; REDDY, C. V.; MCGINNIS, J. Observations on eating patterns and rate of food passage of birds fed pelleted and unpelleted diets. **Poultry Science**, v.41, p.1414–1419, 1962.

JENSEN, L. S. Influence of pelleting on the nutritional needs of poultry. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.13, p.35–46, 2000.

LECZNIESKI, J. L.; RIBEIRO, A. M. L.; KESSLER, A. M.; PENZ JR, A. M. Influência da forma física e do nível de energia da ração no desempenho e na composição de frangos de corte. **Archivos Latinoamericanos Producción Animal**, v.9, p.6-11, 2001.

LEESON, S.; CASTON, L.; SUMMERS, J. D. Broiler response to energy or energy and protein dilution in the finisher diet. **Poultry Science**, p.85-522, 1996.

MAIORKA, A.; DAHLKE, F.; PENZ JR, A. M.; KESSLER, A.M. Diets Formulated on Total or Digestible Amino Acid Basis with Different Energy Levels and Physical form on Broiler Performance. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.7, p.47–50, 2005.

McKINNEY, L. J.; TEETER, R. G. Predicting effective caloric value of nonnutritive factors: I. pellet quality and II. prediction of consequential formulation dead zones. **Poultry Science**, v.83, p.1165-1174, 2004.

MEINERZ, C.; RIBEIRO, A. M. L.; PENZ Jr., A. M.; KESSLER, A. M. Níveis de energia e peletização no desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte com oferta alimentar equalizada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.2026-2032, 2001.

MINGBIN, L. V.; LEI, Y.; ZHENGGUO, W.; SHA, A.; MIAOMIAO, W.; ZUNZHOU, L. V. Effects of feed form and feed particle size on growth performance, carcass characteristics and digestive tract development of broilers. **Animal Nutrition**, v.1, p.252–256, 2015.

MOREL, P. C. H.; TIMMERS, J. A.; DE WIT T. A. T. H.; WOOD, G. R.; SHERRIFF, R.; CAMDEN, B. J.; THOMAS, D. V.; RAVINDRAN, V. Prediction of feed intake in modern broilers. **Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium**, v.13, p.152–155, 2001.

MORAN JR, E. T. Comparative nutrition of the fowl and swine. The gastrointestinal system. Guelph, Ontário, Canada: University of Guelph, 1982.

NIR, I.; SHEFET, Y.; ARONI, G. Effect of particle size on performance. I. corn. **Poultry Science**, v.73, p.45-49, 1994.

NIR, I.; PTICHI, I. Feed particle size and hardness: influence on performance, nutritional, behavioral and metabolic aspects. **Advances in Nutritional Technology**, p.157-186, 2001.

PLUMSTEAD, P. W.; ROMERO-SANCHEZ, H.; PATON, N.D.; SPEARS, J. W.; BRAKE, J. Effects of dietary metabolizable energy and protein on early growth responses of broilers to dietary lysine. **Poultry Science**, v.86, p.2639-2648, 2007.

RICHARDS, M. P.; PROSZKOWIEC-WEGLARZ, M. Mechanisms Regulating Feed Intake, Energy Expenditure, and Body Weight in Poultry. **Poultry Science**, v.86, p.1478-1490, 2007.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T.; EUCLIDES, R. F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos**. 3ª edição, Viçosa, MG: UFV, p.252, 2011.

SALEH, E.; WATKINS, S.; WALDROUP, A.; WALDROUP, P. Effects of dietary nutrient density on performance and carcass quality of male broilers grown for further processing. **International Journal of Poultry Science**, v.3, p.1-10, 2004.

SCOTT, T. A. Variation in feed intake of broiler chickens. **Recent Advances in Animal Nutrition in Australia**, v.15, 2005.

SCOTT, T. A.; SILVERSIDES, F. G. Defining the effects of wheat type, water inclusion level, and wet-diet restriction on variability in performance of broilers fed wheat-based diets with added water. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 83, p. 265-272, 2003.

SKINNER-NOBLE, D. O.; MCKINNEY, L.J.; TEETER, R.J. Predicting effective caloric value of nonnutritive factors: III Feed form affects broiler performance by modifying behavior patterns. **Poultry Science**, v. 84, p.403-411, 2005.

SVIHUS, B.; KLØVSTAD, K. H.; PEREZ, V.; ZIMONJA, O.; SAHLSTRÖM, S.; SCHÜLLER, R. B.; JEKSRUD, W. K.; PRESTLØKKEN, E. Nutritional effects of pelleting of broiler chicken diets made from wheat ground to different coarsenesses by the use of roller mill and hammer mill. **Animal Feed Science and Technology** v.117, p.281-293, 2004.

SVIHUS, B. The role of feed processing on gastrointestinal function and health in poultry. **Avian Gut Function in Health and Disease**, p.183-194, 2006.

SVIHUS, B. Limitations to wheat starch digestion in growing broiler chickens: A brief review. **Animal Production Science**, v.51, p.583-589, 2011.

SUNDU, B. The effect of diet and pellet size on the passage rate of feed in the digestive tract of broiler chickens. **Journal Agroland**, v.14, p.330-335, 2008.

THOMAS, M.; VAN DER POEL, A. F. B. Physical quality of pelleted animal feed. **Animal Feed Science and Technology**, v. 61, p.89-112, 1996.

TRAMPEL, D. W.; DUKE, G. E. "Avian digestion." **Dukes' Physiology of Domestic Animals**. Reece, WO (ed.), 12th edition (1st Indian reprint), p.488-500, 2004.

VAN KEULEN, J.; YOUNG, B. A. Evaluation of acidinsoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. **Journal of Animal Science**, v.44, p.282-287, 1977.

CAPÍTULO III - PROCESSAMENTO TÉRMICO DO MILHO E FORMA FÍSICA DE DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE

RESUMO

Esse estudo teve como objetivo avaliar o efeito do pré-processamento térmico do milho e forma física das dietas sobre a qualidade dos peletes e desempenho, rendimento de carcaça e digestibilidade das frações da dieta em frangos de corte. Foram utilizados 1080 pintos de corte machos Cobb® de 1 a 35 dias de idade, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2, sendo três tipos de processamento do milho (farelado, peletizado ou expandido), e duas formas físicas da dieta (farelada ou peletizada), totalizando 6 tratamentos e 9 repetições de 20 aves cada. Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA e, se significativo, as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Não houve interação entre a forma física e o pré-processamento do milho para qualquer variável estudada ($P > 0,05$). O uso de milho expandido incorporado nas dietas anterior à peletização resultou em maior PDI e menor quantidade de finos ($P < 0,05$) em relação ao milho farelado. Dietas peletizadas proporcionaram maior CR e GP ($P < 0,001$), maior quantidade de gordura abdominal ($P < 0,05$) e menor energia digestível ileal (EDI, $P = 0,05$), em relação aos alimentados com dieta farelada. Não houve efeito da forma física da dieta sobre a digestibilidade das frações estudadas ($P > 0,05$). Frangos alimentados com dietas contendo milho farelado apresentaram maior CR em relação aos que receberam dietas contendo milho expandido ou peletizado ($P < 0,001$). O uso de milho peletizado resultou em menor GP em relação aos demais processamentos ($P < 0,01$). O processo de expansão do milho melhorou a CA e CAj ($P < 0,001$). A inclusão de milho expandido na dieta melhorou o CDIA da MS, PB, amido (disponível, resistente e total) e EDI ($P < 0,05$) em relação ao milho farelado, ao passo que o milho peletizado proporcionou CDIA intermediários. Conclui-se que dietas peletizadas melhoram o desempenho de frangos de corte. A tecnologia de expansão do milho pode ser utilizada a fim de melhorar a qualidade física da dieta, desempenho e digestibilidade em frangos de corte.

Palavras-chave: Desempenho. Digestibilidade. Expansão. Gelatinização do amido. Peletização.

CHAPTER III - THERMAL PROCESSING OF CORN AND DIET PHYSICAL FORM FOR BROILERS

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of corn thermal preprocessing and the physical form of diets on pellet quality, performance, carcass yield and nutrient digestibility in broilers. A total of 1080 male Cobb® broilers from 1 to 35 days of age were used. The birds were distributed according to a completely randomized design, in a 3 x 2 factorial arrangement, consisting of three types of corn processing (mash, pelleted or expanded), and two physical forms of diet (mash or pelleted), totaling six treatments and nine replicates of 20 birds each. The data were submitted to ANOVA and the means compared by the Tukey test ($P < 0.05$). There was no interaction between the diet physical form and the corn processing for any variable studied ($P > 0.05$). The use of expanded corn incorporated in the diets prior to pelleting resulted in higher PDI and less fines ($P < 0.05$) compared to mash corn. Pelleted diets provided higher feed intake (FI) and weight gain (WG; $P < 0.001$), higher amount of abdominal fat ($P < 0.05$) and lower ileal digestible energy (IDE, $P = 0.05$), compared to mash feed. There was no effect of the diet physical form on the digestibility of the fractions studied ($P > 0.05$). Chickens fed diets containing mash corn presented higher FI in relation to those fed diets with expanded or pelleted corn ($P < 0.001$). The use of pelleted corn resulted in lower WG compared to the other processes ($P < 0.01$). The expansion process of the corn improved feed conversion ratio (FCR; $P < 0.001$). The inclusion of expanded corn in the diet improved CIAD of dry matter (DM), crude protein (CP), starch (available, resistant and total) and IDE ($P < 0.05$) relative to mash corn, while pelleted corn provided intermediary CIAD. Overall, the results suggest that pelleted diets improve the performance of broiler chickens. Corn expansion technology can be used in order to improve the pellet quality and performance and digestibility in broilers.

Keywords: Performance. Digestibility. Expansion. Starch gelatinization. Pelleting.

1. INTRODUÇÃO

A peletização é o processamento térmico mais utilizado em dietas para frangos de corte e consiste em aglomerar as partículas dos ingredientes em formato cilíndrico, por meio de pressão mecânica, umidade e temperatura. Um amplo range de temperatura e umidade pode ser empregado durante o condicionamento, variando comumente de 60 a 100°C e 12 a 18% de umidade (HANCOCK, 1992).

Dentre as principais razões que motivam as agroindústrias à peletizar rações destacam-se o aumento do consumo de ração (BOLTON, 1960; CALET, 1965; MEINERZ et al., 2001; SVIHUS, 2004) em função da maior facilidade de apreensão das partículas dos ingredientes quando aglomeradas no formato de peletes (JENSEN et al., 1962); aumento da efetividade calórica em função da maior frequência de descanso das aves (MCKINNEY e TEETER, 2004); e maior digestibilidade das frações da dieta (MORAN, 1987; BEHNKE, 1994; ZELENKA, 2003). Entretanto, diversos estudos têm mostrado que o processo de condicionamento/peletização exerce pouco efeito sobre a gelatinização do amido (SKOCH et al., 1981; SVIHUS et al., 2004; ZIMONJA et al., 2008) e modificação das proteínas (ABDOLLAHI et al., 2011; ROZA et al., 2018). Processamentos mais intensos, como a expansão, podem ser capazes de promover maiores modificações nas estruturas dos ingredientes e melhorar a digestibilidade das frações (LÓPEZ et al., 2007), bem como melhorar qualidade dos peletes (MURAMATSU et al., 2015, 2016).

A expansão de rações é um processo de alta temperatura e curto tempo (high temperature and short time; HTST), que é utilizado principalmente anterior a peletização para intensificar o processo de condicionamento. O processo HTST é criado pela transferência de energia mecânica para energia térmica, o que permite alcançar temperaturas altas, acima de 120°C, e a pressão superior a 1200 PSI (FANCHER et al., 1996). Independentemente do tipo de processamento, se este for muito intenso, com temperaturas demasiadamente altas, por exemplo, pode ocorrer formação de amido resistente, prejudicando sua digestão posterior, reação de Maillard e destruição de vitaminas e aminoácidos termolábeis (SILVERSIDES e BEDFORD, 1999; ABDOLLAHI et al., 2010). Assim, uma alternativa para melhorar a biodisponibilidade das frações da dieta e reduzir os efeitos negativos do

processamento térmico seria realizar o pré-processamento dos ingredientes isolados que compõem a maior parte da fórmula, como o milho, por exemplo.

Diante do exposto, o objetivo do estudo foi comparar a interação entre o pré-processamento do milho (farelado, peletizado ou expandido) e a forma física da dieta (farelada e peletizada) sobre a qualidade física dos peletes, desempenho, rendimento de carcaça e digestibilidade das frações da dieta em frangos de corte.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ANIMAIS E INSTALAÇÕES

Todos os procedimentos realizados foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal do Paraná (UFPR), sob protocolo nº 064/2017. Foram utilizados 1080 pintos de corte machos Cobb 500®, oriundos de incubatório comercial, de 1 a 35 dias de idade. As aves foram alojadas em boxes de 1,65 m de comprimento e 1,25 m de largura, sobre cama de maravalha, equipados com bebedouros *nipple* e comedouros tubulares.

As aves receberam ração e água à vontade durante todo o período experimental. A temperatura foi mantida de acordo com o sugerido pelo manual da linhagem (COBB, 2013). Durante os 10 primeiros dias foi utilizada luz incandescente contínua (24 h) e após esse período foi utilizado programa de luz com 9 horas de escuro por dia.

2.2 COMPOSIÇÃO E PROCESSAMENTO DAS DIETAS EXPERIMENTAIS

As dietas fornecidas às aves foram à base de milho e farelo de soja (tabela 1). As dietas variaram de acordo com o processamento do milho (farelado, peletizado ou expandido) e diferentes formas físicas (farelada ou peletizada). O milho foi peletizado em uma peletizadora Van Arsen (modelo C-900), com matriz circular de 55 mm e furos de 4,5 mm. O condicionamento foi realizado a uma temperatura de 84°C, pressão de 1,2 kgf/cm² durante 13 segundos. O processo de expansão do milho foi realizado em Expander Kahl (modelo OE38.2), à temperatura média de 105°C e pressão de 96 kgf/cm², durante 4 segundos. Ao final do processo,

tanto o milho peletizado quanto o expandido foram submetidos à secagem/resfriamento até atingir 32°C e moídos em moinho de martelos com peneira de 6mm para atingir granulometria semelhante ao do milho farelado. As dietas fareladas apresentaram Diâmetro Geométrico Médio (DGM) de 1180, 962 e 960 μm para as compostas por milho farelado, peletizado e expandido respectivamente.

Para a fabricação das dietas peletizadas foi utilizada a peletizadora a vapor (Koppers Júnior C40 - Koppers Company, Inc. Pittsburgh, PA, USA), com motor Siemens de 50 hp e anel com furos de diâmetro de 4,7 mm. O tempo de condicionamento foi de 10 segundos com temperatura de 75°C e pressão de 1,5 kgf/cm^2 , e os peletes mediam 5,0 mm. Após o processo de peletização as dietas foram secas e resfriadas a temperatura média de 37°C. As dietas peletizadas fornecidas na fase inicial foram trituradas em moinho de rolo com distância entre rolos de 2,0 mm.

Tabela 1. Composição calculada (%) das dietas.

Ingredientes	Inicial (1-21d)	Crescimento (22-35d)
Milho ¹	55,890	55,988
Farelo de soja	37,080	33,993
Óleo de soja	2,765	6,240
Celite ²	-	1,000
Fosfato bicálcico	1,751	0,981
Calcário	0,851	0,841
Sal (NaCl)	0,480	0,431
Premix mineral ³	0,050	0,050
Premix vitaminico ⁴	0,120	0,050
L-lisina	0,252	0,027
DL- metionina	0,322	0,175
L-treonina	0,129	0,015
Cloreto de colina	0,100	-
Antioxidante ⁵	0,010	0,010
Sequestrante de micotoxinas	0,200	0,200
Calculada		
EM (Kcal/kg dieta)	2980	3200
Proteína Bruta	21,122	19,365
Extrato Etéreo	5,408	8,799
Cinza	5,902	4,908
Cálcio	0,850	0,650
Fósforo Total	0,704	0,542
Fósforo Disponível	0,450	0,300
Sódio	0,200	0,180
Lisina	1,200	0,950
Metionina	0,587	0,426
Metionina + cisteína	0,900	0,720
Treonina	0,800	0,650
Triptofano	0,230	0,213

¹ Diâmetro Geométrico Médio (DGM) do milho farelado, peletizado e expandido foi de 1084, 635 e 632 µm respectivamente

² Celite® 400, Marcador insolúvel (Celite, Celite Corp., Lompoc, CA).

³ Suplementado por kg de premix: cobre 20 g. ferro 100 g. manganês 160 g. cobalto 2000.00 mg. iodo 2000.00 mg. zinco 100 g.

⁴ Suplementado por kg de premix: vit. A 9000000.00 UI. vit D3 2500000.00 UI. vit E 200000.00 UI. vit K3 2500.00 mg. vit B1 1500.00 mg. vit B2 6000.00 mg. vit B6 3000.00 mg. vit B12 12000.00 mcg. ácido pantotênico 12 g. niacina 25 g. ácido fólico 800.00 mg. biotina 60.00 mg. selênio 250.00 mg.

⁵ Hidroxitolueno butilado (B.H.T 98, Cargill, Inc.)

2.3 QUALIDADE FÍSICA

A fim de determinar a quantidade de finos das dietas peletizadas, seis amostras de 200 g foram pesadas, peneiradas em peneira com abertura de 4 mm por 30 segundos, e a ração que permaneceu na peneira foi novamente pesada para calcular a porcentagem de peletes intactos e, por diferença, de finos. Para calcular o Índice de Durabilidade dos Peletes (PDI) as seis amostras de cada tratamento, sem finos, foram submetidas a tombamento durante 10 minutos e rotação de 50 rpm. A análise de dureza foi realizada em durômetro (Nova Ética®, modelo 298 DGP - Ethiktechnology, São Paulo, Brazil) com peletes individuais (seis por tratamento).

2.4 DESEMPENHO E RENDIMENTO DE CARÇAÇA

Todas as aves dos boxes e as sobras de ração nos comedouros foram pesadas semanalmente, por repetição, para determinar o consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA) e ajustada para 2300g de peso vivo (CAj). A mortalidade foi verificada diariamente. A CAj foi calculada de acordo com a seguinte equação:

$$CAj = ((2300kg - PM35)/3200) + CA35$$

No qual (2300) é o peso médio (g) esperado para a linhagem aos 35 dias (COBB, 2013), (PM35) é o peso médio obtido aos 35 dias e CA35 é a conversão alimentar obtida aos 35 dias.

No 35º dia, uma ave de cada unidade experimental foi eutanasiada para medição do rendimento de carcaça e de cortes. Após a remoção das penas, cabeça, pés e vísceras, as carcaças foram lavadas e resfriadas durante 60 minutos a 2°C. A carcaça e os cortes (peito, coxa + sobrecoxa e gordura) foram pesados para determinar o rendimento, e este foi calculado em relação ao peso da carcaça.

2.5 DIGESTIBILIDADE

No 35º dia de criação, uma ave por unidade experimental (totalizando 54 aves) foram eutanasiadas para coleta de conteúdo ileal para realização das análises de digestibilidade. As aves foram evisceradas e a porção do íleo separada para retirada do conteúdo ileal. A fração ileal foi definida como 4 cm abaixo do divertículo de Meckel e 4 cm acima da junção íleo-ceco-cólica. O conteúdo ileal coletado foi homogeneizado, congelado e liofilizado (Liofilizador Modulyo D, Thermo Electron Corporation, Waltham, MA, USA) até a pressão de vácuo de 5×10^{-2} mbar.

Amostras das rações e do conteúdo ileal foram moídos a 1 mm e analisados quanto ao teor de matéria seca após secagem em estufa a 105°C por 12 horas, e proteína bruta (método 954.01) de acordo com a AOAC (1995). A quantidade de amido disponível, amido resistente e amido total foi determinada utilizando o (método 996.11, tabela 2) da AOAC adaptado por Walter et al. (2005).

Tabela 2. Quantidade de amido disponível, resistente e total (%) das dietas experimentais.

Forma física	Processamento do Milho	Amido disponível	Amido resistente	Amido total
Farelada	Farelado	44,54	5,70	50,24
Peletizada	Farelado	44,98	5,55	50,53
Farelada	Peletizado	45,79	6,15	51,93
Peletizada	Peletizado	45,26	5,67	50,94
Farelada	Expandido	47,17	6,02	53,18
Peletizada	Expandido	48,25	6,54	54,79

O conteúdo de energia bruta foi determinado em bomba calorimétrica (Ika Werke C2000 Control Oxygen Bomb Calorimeter - Ika-Werke GmbH&Co, Staufen, Germany). A cinza insolúvel em ácido foi utilizada como marcador indigestível para os cálculos de digestibilidade, e determinada de acordo com a metodologia descrita por Van Keulen e Young (1977).

Os coeficientes de digestibilidade ileal aparente (CDIA) das frações da dieta foram estimados de acordo com a equação abaixo:

$$CDIA \text{ da fração da dieta} = \frac{(\text{fração na dieta}) - (\text{fração no conteúdo ileal} \times FI)}{\text{fração na dieta}}$$

Onde (FI) é a razão entre a CIA da dieta e a CIA no conteúdo ileal.

A energia digestível ileal (EDI) foi calculada de acordo com a seguinte equação:

$$EDI \text{ (kcal/kg de MS)} = EB \text{ na dieta} - (EB \text{ no conteúdo ileal} \times FI)$$

2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2, sendo três tipos de processamento do milho (farelado, expandido ou peletizado) e duas formas físicas (farelada ou peletizada) com nove repetições de 20 aves cada.

Os dados obtidos foram primeiramente submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk). Posteriormente, os dados foram submetidos à ANOVA e as medias comparadas pelo teste de Tukey (P<0,05).

3. RESULTADOS

3.1 QUALIDADE FÍSICA DOS PELETES

A utilização de milho expandido resultou em maior PDI e menor quantidade de finos em relação ao milho farelado (P<0,05, tabela 3). Já a peletização do milho proporcionou qualidade física intermediária entre o milho farelado e expandido (P<0,05). Não houve efeito do pré-processamento do milho sobre a dureza dos peletes (P>0,05).

Tabela 3. Parâmetros de qualidade física de dietas peletizadas com diferentes tipos de processamento do milho.

Tratamento	Inicial (1-21d)			Crescimento (22-35d)		
	Finos (%)	PDI (%)	Dureza (kgf)	Finos (%)	PDI (%)	Dureza (kgf)
Milho farelado	9,17 ^a	82,8 ^b	5,004	14,60 ^a	71,0 ^b	2,992
Milho peletizado	6,64 ^b	86,0 ^{ab}	4,902	13,74 ^a	73,8 ^{ab}	2,602
Milho expandido	5,49 ^b	87,1 ^a	5,536	10,46 ^b	77,3 ^a	2,756
EPM ¹	0,451	0,736	0,122	0,537	0,861	0,083
Probabilidade	<0,01	0,031	0,065	<0,001	<0,01	0,155

a-b Letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05)

¹ EPM = Erro padrão da média

3.2 DESEMPENHO

Não houve interação entre a forma física da dieta e o pré-processamento do milho para nenhum parâmetro de desempenho ($P>0,05$, tabela 4). O fornecimento de dietas peletizadas resultou em maior CR e GP ($P<0,001$) em relação às fareladas. Não houve efeito da forma física da dieta sobre a CA ($P>0,05$). Frangos alimentados com dietas contendo milho farelado apresentaram maior CR em relação aos que receberam dietas contendo milho peletizado e expandido ($P<0,001$). O uso de milho peletizado resultou em menor GP em relação aos demais processamentos ($P<0,01$). O processo de expansão do milho melhorou a CA e CAj ($P<0,001$).

Tabela 4. Desempenho de frangos de corte de 1 a 35 dias alimentados com dietas fareladas ou peletizadas com milho farelado, peletizado ou expandido.

Forma física	Processamento do Milho	CR (g)	GP (g)	CA (g/g)	CAj (g/g)
Farelada	Farelado	2893	2045	1,415	1,481
	Peletizado	2824	1973	1,431	1,430
	Expandido	2788	2013	1,385	1,526
Peletizada	Farelado	3133	2220	1,412	1,482
	Peletizado	3014	2110	1,429	1,466
	Expandido	2968	2178	1,363	1,388
EPM ¹		0,020	0,015	0,004	0,007
Médias (efeito principal)					
Forma física					
Farelada		2835	2,010	1,410	1,491
Peletizada		3038	2169	1,401	1,433
Processamento do milho					
Farelado		3013 ^a	2132 ^a	1,413 ^b	1,455 ^b
Peletizado		2919 ^b	2042 ^b	1,429 ^b	1,504 ^c
Expandido		2877 ^b	2095 ^a	1,374 ^a	1,427 ^a
Probabilidade					
Forma		<0,001	<0,001	0,108	<0,001
Milho		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Forma* Milho		0,455	0,616	0,276	0,305

a-b Letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

¹ EPM = Erro padrão da média

3.3 RENDIMENTO DE CARÇAÇA

Não houve interação entre os fatores avaliados sobre nenhum parâmetro de rendimento ($P < 0,05$; tabela 5). O rendimento de carcaça, peito, coxa e sobrecoxa não foram afetados pela forma física da dieta ($P < 0,05$). Entretanto, dietas peletizadas proporcionaram maior quantidade de gordura abdominal em relação às fareladas ($P < 0,05$). Frangos alimentados com dietas contendo milho expandido apresentaram maior rendimento de carcaça em relação aos alimentados com milho peletizado, e semelhante ao milho farelado ($P < 0,05$).

Tabela 5. Rendimento de carcaça e cortes e quantidade de gordura abdominal (%) de frangos de corte aos 35 dias alimentados com dietas fareladas ou peletizadas com milho farelado, peletizado ou expandido.

Forma física	Processamento do Milho	Carcaça	Peito	Coxa+ Sobrecoxa	Gordura
Farelada	Farelado	80,32	38,20	27,41	1,49
	Peletizado	79,61	36,61	28,20	1,43
	Expandido	80,26	37,24	27,38	1,51
Peletizada	Farelado	79,58	37,20	27,65	1,61
	Peletizado	79,15	36,79	27,42	1,74
	Expandido	80,46	37,15	27,28	1,63
EPM ¹		0,141	0,175	0,140	0,040
Médias (efeito principal)					
Forma física					
Farelada		80,06	37,35	27,67	1,48
Peletizada		79,73	37,05	27,45	1,66
Processamento do milho					
Farelado		79,95 ^{ab}	37,70	27,53	1,55
Peletizado		79,38 ^b	36,70	27,81	1,59
Expandido		80,36 ^a	37,19	27,33	1,57
Probabilidade					
Forma		0,225	0,379	0,439	0,024
Milho		0,015	0,059	0,372	0,931
Forma*Milho		0,378	0,333	0,309	0,543

a-b Letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

¹ EPM = Erro padrão da média

3.4 DIGESTIBILIDADE

Não houve interação entre a forma física da dieta e processamento do milho para nenhum parâmetro de digestibilidade avaliado ($P < 0,05$; tabela 6). Não houve

efeito de forma física na digestibilidade das frações da dieta ($P<0,05$). Frangos alimentados com dietas peletizadas apresentaram menor valor de EDI ($P=0,05$) em relação aos que receberam dietas fareladas. A inclusão de milho expandido na dieta melhorou o CDIA de todos os parâmetros de digestibilidade avaliados ($P<0,05$) em relação ao milho farelado, ao passo que o milho peletizado proporcionou coeficientes de digestibilidade intermediários.

Tabela 6. Coeficientes de digestibilidade ileal aparente (CDIA) das frações da dieta (%) e energia digestível ileal (kcal/kg) em frangos de corte aos 35 dias alimentados com dietas fareladas ou peletizadas com milho farelado, peletizado ou expandido.

Forma física	Milho	CDIAMS	CDIAPB	CDIAD	CDIAR	CDIAT	EDI
Farelada	Farelado	74,42	84,51	90,50	79,44	89,25	3896
	Peletizado	76,12	83,88	91,85	81,31	90,38	3970
	Expandido	76,90	84,93	92,86	81,75	91,07	4048
Peletizada	Farelado	73,58	82,49	90,71	79,58	89,45	3836
	Peletizado	76,23	83,31	91,51	82,38	90,82	3923
	Expandido	76,12	85,43	92,59	84,26	91,99	4036
EPM ¹		0,269	0,266	0,298	0,513	0,334	14,211
Médias (efeito principal)							
Forma física							
Farelada		75,82	84,44	91,74	80,83	90,23	3971
Peletizada		75,31	83,74	91,60	82,07	90,76	3931
Milho							
Farelado		74,00 ^b	83,50 ^b	90,60 ^b	79,51 ^b	89,35 ^b	3866 ^c
Peletizado		76,18 ^a	83,60 ^b	91,68 ^{ab}	81,84 ^{ab}	90,60 ^{ab}	3947 ^b
Expandido		76,51 ^a	85,18 ^a	92,72 ^a	83,01 ^a	91,53 ^a	4042 ^a
Probabilidade							
Forma		0,260	0,149	0,8163	0,206	0,427	0,050
Milho		<0,001	<0,01	0,018	0,023	0,039	<0,001
Forma*Milho		0,619	0,103	0,922	0,607	0,899	0,576

a-b Letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P<0,05$)

¹ EPM = Erro padrão da média

4. DISCUSSÃO

O processo de expansão do milho melhorou o PDI e diminuiu a quantidade de finos em relação às dietas com milho farelado. Esta melhora pode estar associada a maior gelatinização do amido e plastificação das proteínas proporcionada pela expansão uma vez que, neste processo, ocorre maior

transferência de calor para a massa e maior força de cisalhamento. Moritz et al. (2005) avaliando diferentes processamentos do milho, observaram que a peletização e extrusão resultaram em valores analisados de gelatinização do amido de 29 a 92% respectivamente. Segundo Behnke (1994), a gelatinização do amido é importante para a formação de ligações entre as partículas, portanto, necessária para a formação de peletes duráveis. De acordo com este autor, a gelatinização do amido combinada à plastificação das proteínas promove adesão das partículas. Lund e Lorenz (1984) afirmam que quando o amido gelatinizado esfria, a matriz do grânulo que está dispersa forma um gel que pode atuar como um adesivo ou ligante. Muramatsu et al. (2015) ao avaliar a interação de diferentes fatores (processamento térmico, tamanho de partícula, adição de gordura e umidade) em dietas para frangos sobre o PDI, observaram que 44% é atribuído ao processamento térmico (condicionamento simples ou conjugado à expansão). Em trabalho anterior, Muramatsu et al. (2013) reportaram que a combinação da expansão ao condicionamento-peletização melhorou o PDI em 69% e reduziu 200g/kg a quantidade de finos em comparação ao condicionamento simples.

Os benefícios da peletização são amplamente reportados na literatura (LATSHAW e MORITZ, 2009, DOZIER et al., 2010; ABDOLLAHI et al., 2013; MINGBIN et al., 2015; MASSUQUETTO et al., 2017) e os resultados obtidos no presente trabalho confirmam esses benefícios. Frangos de corte alimentados com dietas peletizadas apresentam melhor desempenho devido a maior capacidade de consumo (LATSHAW, 2008), proporcionado pela maior facilidade de apreensão dos peletes e consequente redução do tempo necessário para ingestão (JENSEN et al., 1962; MORAN, 1989). Considerando somente o efeito da forma física, houve aumento de cerca de 7% no CR das aves alimentadas com dietas peletizadas em relação a fareladas. Este aumento ocorreu em função do fornecimento de dietas de boa qualidade física e resultou em cerca de 160g a mais de GP. O maior consumo de nutrientes associado a menor energia despendida no processo de apreensão e ingestão do alimento (MCKINNEY e TEETER, 2004) possibilita maior GP.

Ao avaliar somente o efeito do processamento do milho, houve maior CR quando se utilizou milho farelado. Este resultado pode ter ocorrido em partes pelo maior DGM do milho farelado (1084 μm) em relação ao peletizado e expandido que

foi de 635 e 632 μm respectivamente. Moritz et al. (2005) também observaram diferença no tamanho de partícula do milho (farelado, peletizado ou extrusado) mesmo tendo realizado a moagem no mesmo moinho e com a mesma peneira, assim como no presente trabalho. Uma vez que o milho é o cereal que compõe a maior parte da fórmula, o fornecimento do milho contendo partículas maiores pode ter favorecido o CR uma vez que aves possuem preferência por partículas maiores em detrimento das menores (NIR et al., 1994; DAHLKE et al., 2001). Entretanto, ao analisar os resultados de GP, os animais alimentados com dietas contendo milho farelado ou expandido apresentaram GP semelhante. Já a CA foi melhor com a utilização do milho expandido. Resultados semelhantes aos obtidos por López et al. (2007) que, ao avaliar diferentes tipos de processamento da dieta, observaram que o peso corporal dos frangos aumentou conforme se intensificou o processamento atingindo pesos de 2,597, 2,828 e 2,874kg, para as rações farelada, peletizada e expandida/peletizada, respectivamente, e melhora na CA. Fleischmann (2012) observou aumento no GP e melhora na CA de frangos de corte alimentados com dietas expandidas em relação a farelada, independente da temperatura de expansão utilizada (95, 105 ou 115°C). Porém contrários aos obtidos por Sloan et al. (1971) que ao incorporar 50 ou 100% de milho expandido/extrusado em dietas para frangos de corte não observaram diferença no GP diário e CA. A expansão do milho melhorou a digestibilidade de todas as frações da dieta analisadas, promovendo maior GP e CA em relação ao milho que não foi processado termicamente.

A peletização do milho reduziu o GP, porém não houve diferença na CA comparando com o milho farelado. Essa resposta pode ter ocorrido em função da redução do CR proporcionado pela baixa granulometria do milho peletizado após ser submetido à remoagem. Uma vez que o processo de peletização é menos intenso que o de expansão em promover modificações nas frações do milho, a redução do CR pode ter prejudicado o GP. Resultados contrários aos obtidos por Allred et al. (1957) que reportaram melhora no GP e CA de frangos alimentados com dietas fareladas contendo milho peletizado e remoído. Entretanto, os autores descrevem que a moagem do milho peletizado foi realizada de forma que o milho apresentasse tamanho de partícula semelhante ao da dieta farelada, o que pode ter favorecido o desempenho dos frangos.

O rendimento de carcaça, peito e coxa e sobrecoxa não foram afetados pela forma física da dieta. Resultados semelhantes aos obtidos por Mingbin et al. (2015) que afirmam que a forma física da dieta não promove efeitos significativos no rendimento de carcaça e cortes em frangos de corte. Porém, frangos alimentados com dietas peletizadas apresentaram 12% mais gordura abdominal. Diversos autores também observaram maior percentual de gordura abdominal em frangos que consumiram dietas peletizadas (PLAVNIK et al., 1997; MAIORKA et al., 2005; CORZO et al., 2011). O maior CR proporcionado pela peletização promove maior ingestão de nutrientes e o excesso de energia produzida pela digestão destes foi depositado na forma de tecido adiposo.

O processo de peletização pode ter sido pouco eficiente em modificar as estruturas do amido e da proteína, pois não houve diferença para nenhum parâmetro de digestibilidade estudado. Alguns estudos têm mostrado que a peletização exerce pouco efeito sobre a disponibilidade dos nutrientes, enquanto processamentos mais intensos como a expansão e extrusão, no qual ocorre maior adição de umidade e maior temperatura em curto período de tempo, promovem maiores modificações nas estruturas dos ingredientes (SKOCH et al., 1981; SVIHUS et al., 2004, 2005; ZIMONJA et al., 2008).

É importante ressaltar que além do efeito do condicionamento durante a peletização, existe o efeito da forma física sobre a digestibilidade. A peletização reduziu marginalmente a EDI, possivelmente devido a fatores relacionados ao aumento do consumo. Svihus (2006) mostrou correlação negativa entre o CR e o valor de energia metabolizável aparente (EMA). Assim, o aumento da digestibilidade das frações proporcionado pela peletização relatado em diversos trabalhos da literatura, pode ter ocorrido em função da qualidade física das dietas. O efeito positivo na digestibilidade geralmente pode ser visualizado em aves alimentadas com dietas de baixa qualidade física. A partir do momento que a peletização é realizada preconizando alta qualidade física, o aumento do consumo de ração pode mascarar o efeito do processamento térmico, o que possivelmente, ocorreu no presente trabalho.

A inclusão do milho expandido se mostrou uma alternativa eficiente para melhorar a digestibilidade das frações. Houve aumento na digestibilidade do amido

total, disponível e resistente do milho expandido em relação ao farelado ou peletizado. Esta melhora pode ser atribuída ao processo de gelatinização do amido que possibilita maior acesso enzimático às ligações glicosídicas e, consequentemente, maior digestibilidade (MORAN, 1989). Kokić et al. (2013), avaliando diferentes tipos de processamento do milho observaram menores graus de gelatinização do amido para floculação (21,3%) e peletização (25,5%), ao passo que processamentos mais intensos como micronização e extrusão resultaram em maiores graus de gelatinização, 63,6 % e 100% respectivamente. De forma semelhante, Muramatsu et al. (2014) observaram aumento de 32 para 35% na gelatinização do amido de dietas para frangos de corte peletizadas ou expandidas/peletizadas respectivamente. Zimonja et al. (2007) também observaram maior digestibilidade do amido em frangos alimentados com dietas expandidas em relação à peletizadas.

A fração do amido que passa pelo intestino delgado sem ser digerida é conhecida como amido resistente (ENGLYST et al., 1992). O amido resistente também pode ser formado por recristalização de amilose solubilizada (VORAGEN et al., 1995). Por sua vez, o amido resistente pode ser classificado em amido fisicamente inacessível (tipo 1), grânulos de amido resistente (tipo 2) e amido retrogradado (tipo 3; ENGLYST et al., 1992). O amido resistente tipo 3 pode ser produzido a partir do tratamento térmico dos ingredientes, quando o amido é resfriado após a gelatinização. No presente trabalho, acredita-se que o processamento térmico possa ter solubilizado as frações do amido resistente tipo 1 e 2, o que refletiu em maior CDIA do amido resistente das dietas contendo milho expandido em relação ao farelado ou peletizado.

O processamento térmico pode promover rompimento das pontes dissulfeto na estrutura das proteínas, causando desnaturação e facilitando a ação de enzimas (SCOTT et al., 1997), o que pode explicar o maior CDIA da proteína encontrado no presente trabalho. Entretanto, dependendo da intensidade do processamento, com alta temperatura e tempo de condicionamento, pode haver redução na digestibilidade da proteína e aminoácidos. Willians et al. (1997) observaram menor digestibilidade da proteína, metionina e lisina em frangos alimentados com dieta peletizada ou expandida em relação à farelada.

A maior digestibilidade das frações do milho peletizado e do expandido (em relação à peletizada) podem ter aumentado o valor de EDI. Moritz et al. (2005) avaliaram diferentes níveis de inclusão do milho peletizado ou extrusado em dietas completas (um terço, dois terços e três terços) e observaram que a EMAn das dietas aumentou ao passo que a inclusão do milho peletizado ou extrusado aumentou. De forma semelhante, López et al. (2007) avaliaram dietas peletizadas à 60°C por 18 a 20 segundos no condicionador e dietas expandidas/peletizadas a 110°C por 15 a 20 segundos no expander. A EM aparente das rações foram respectivamente de 3020, 3030 e 3060 kcal/kg para as rações farelada, condicionada/peletizada e condicionada/ expandida/peletizada.

5. CONCLUSÃO

A peletização promove maior consumo e ganho de peso em frangos de corte, no entanto pode não ser suficiente para promover melhorias na digestibilidade das frações da dieta. A expansão do milho antes de ser incorporado na dieta completa pode melhorar a adesão entre as partículas e resultar em peletes duráveis e menor quantidade de finos. O uso de milho expandido promove melhora no ganho de peso e conversão alimentar, bem como, na digestibilidade das frações da dieta e energia.

6. REFERÊNCIAS

ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; WESTER, T. J.; RAVINDRAN, G.; THOMAS, D.V. Influence of conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy, ileal digestibility of starch and nitrogen and the quality of pellets, in broiler starters fed maize and sorghum-based diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.162, p.106-115, 2010.

ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; WESTER, T. J.; RAVINDRAN, G.; THOMAS, D. V. Influence of feed form and conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broiler starters fed wheat-based diet. **Animal Feed Science and Technology**, v.168, p.88-99, 2011.

ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; SVIHUS, B. Influence of grain type and feed form on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of

nitrogen, starch, fat, calcium and phosphorus in broiler starters. **Animal Feed Science and Technology**, v.186, p.193-203, 2013.

ALLRED, J. B.; FRY, R. E.; JENSEN L. S.; MCGINNIS, J. Studies with chicks on improvement in nutritive value of feed ingredients by pelleting. **Poultry Science**, v.36, p.1284–1289, 1957.

ASSOCIATION OF THE OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTS – AOAC. **Official and tentative methods of analysis**, 16.ed. Arlington, Virginia: AOAC International, 1995.

BEHNKE, K. Factors affecting pellet quality. In: Maryland Nutrition Conference, College of Agriculture, University of Maryland. **Proceedings...** p.44-54, 1994.

BOLTON, W. The digestibility of mash and pellets by chicks. **Journal Agriculture Science**, v.55, p.141-142, 1960.

CALET, C. The relative value of pellets versus mash and grain in poultry nutrition. **World Poultry Science Journal**, v.21, p.23-52, 1965.

COBB. Cobb 500 Broiler: Broiler performance and nutrition supplement, **Cobb-Vantress Inc.**, Siloam Springs, AR, 2013.

CORZO, A.; MEJIA, L.; LOAR, I. I. R. E. Effect of pellet quality on various broiler production parameters. **Journal Applied of Poultry Research**, v.20, p.68–74, 2011.

DAHLKE, F.; RIBEIRO, A. M. L.; KESSLER, A. M.; LIMA, A. R. Tamanho da partícula do milho e forma física da ração e seus efeitos sobre o desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.3, p.241-248, 2001.

DOZIER, W. A; BEHNKE, K. C.; GEHRING, C. K.; BRANTON, S. L. Effects of feed form on growth performance and processing yields of broiler chickens during a 42-day production period. **Journal Applied Poultry Research**, v.19, p.219–26, 2010.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v.46, p.33-50, 1992.

FANCHER, I.; ROLLINS, D.; TRIMBE, B. Feed processing using the annular gap expander and its impact on poultry performance. **Journal Applied of Poultry Research**, v.5, p.386-94, 1996.

FLEISCHMANN, D. C. **High friction expansion of broiler feed prior to pelleting and its effect on broiler performance**. Dissertação de mestrado, Universidade de Pretoria, Pretoria, África do Sul, 2012.

HANCOCK, J. D. Extrusion cooking of dietary ingredients for animal feeding. Contribution No. 92-316A. Kansas Agriculture Expansion Station. In: **Proceeding of Distillers Feed Conference**. Cincinnati. Ohio. v.47, p.33, 1992.

JENSEN, L. S.; MERRILL, L. H.; REDDY, C. V.; MCGINNIS, J. Observations on eating patterns and rate of food passage of birds fed pelleted and unpelleted diets. **Poultry Science**, v.41, p.1414–1419, 1962.

KOKIĆ, B. M.; LEVIĆ, J. D.; CHRENKOVÁ, M.; FORMELOVÁ, Z.; POLÁČIKOVÁ, M.; RAJSKÝ, M.; JOVANOVIĆ, R. D. Influence of thermal treatments on starch gelatinization and in vitro organic matter digestibility of corn. **Food and Feed Research**, v.40, p.93-99, 2013.

LATSHAW, J. D. Daily energy intake of broiler chickens is altered by proximate nutrient content and form of the diet. **Poultry Science**, v.87, p.89–95, 2008.

LATSHAW, J. D.; MORITZ, J. S. The partitioning of metabolizable energy by broiler chickens. **Poultry Science**, v.88, p.98–105, 2009.

LOPEZ, C. A. A.; BAIÃO, N. C.; LARA, L. J. C.; RODRIGUEZ, N. M.; CANÇADO, S. V. Efeitos da forma física da ração sobre a digestibilidade dos nutrientes e desempenho de frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p.1006-1013, 2007.

LUND, D.; LORENZ, K. J. Influence of time, temperature, moisture, ingredients and processing conditions on starch gelatinization. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.20, p.249–273, 1984.

MAIORKA, A.; DAHLKE, F.; PENZ JR, A. M.; KESSLER, A. M. Diets formulated on total or digestible amino acid basis with different energy levels and physical form on broiler performance. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.7, p.47–50, 2005.

MASSUQUETTO, A.; DURAU, J. F.; SCHRAMM, V. G.; TEIXEIRA NETTO, M. V.; KRABBE, E. L.; MAIORKA, A. Influence of feed form and conditioning time on pellet quality, performance and ileal nutrient digestibility in broilers. **Journal Applied of Poultry Research**, v.27, p. 51-58, 2018.

MCKINNEY, L. J.; TEETER, R. G. Predicting effective caloric value of nonnutritive factors: I. Pellet quality and II. Prediction of consequential formulation dead zones. **Poultry Science**, v.83, p.1165-1174, 2004.

MEINERZ, C.; RIBEIRO, A. M. L.; PENZ JR, A. M.; KESSLER, A.M. Níveis de energia e peletização no desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte com oferta alimentar equalizada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.2026-2032, 2001.

MINGBIN, L.; LEI, Y.; ZHENGGUO, W.; SHA, A.; MIAOMIAO, W.; ZUNZHOU, L. Effects of feed form and feed particle size on growth performance, carcass characteristics and digestive tract development of broilers. **Animal Nutrition**, v.1, p. 252–256, 2015.

MORAN JR, E.T. Pelleting affects feed and its consumption. **Poultry Science**, v.5, p.30–31, 1987.

MORAN JR, E. T. Effect of pellet quality on the performance of meat birds. In *Recent Advances in Animal Nutrition*. W. Harasign and D. J. A. Cole, ed. Butterworths, London, UK, p.87-108, 1989.

MORITZ, J. S.; PARSONS, A. S.; BUCHANAN, N. P.; CALVALCANTI, W. B.; CRAMER, K. R.; BEYER, R. S. Effect of gelatinizing dietary starch through feed processing on zero to three-week broiler performance and metabolism. **Journal Applied of Poultry Research**, v.14, p.47–54, 2005.

MURAMATSU, K.; VACCARI, I. C. M.; MINAFRA, C. S.; SENS, R. F.; DAHLKE, F.; MAIORKA, A. Effect of thermal processing, press throughput and roller-die gap on physicochemical properties of broiler feed pellets. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.6, p.98-107, 2016.

MURAMATSU, K.; MASSUQUETTO, A.; DAHLKE, F.; MAIORKA, A. Factors that affect pellet quality: a review. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.5, p.717-722, 2017.

MURAMATSU K.; MAIORKA A.; DAHLKE F.; LOPES, A. S.; PASCHE, M. Impact of Particle Size, Thermal Processing, Fat Inclusion, and Moisture Addition on Starch Gelatinization of Broiler Feeds. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.16, p.367-374, 2014.

MURAMATSU, K.; MAIORKA, A.; VACCARI, I.C.M.; REIS, R.N.; DAHLKE, F.; PINTO, A.A.; ORLANDO, U.A.D.; BUENO, M.; IMAGAWA, M. Impact of particle size, thermal processing, fat inclusion and moisture addition on pellet quality and protein solubility of broiler feeds. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.3, p.1017-1028, 2013.

NIR, I.; SHEFET, Y.; ARONI, G. Effect of particle size on performance. 1. Corn. **Poultry Science**, v.73, p.45-49, 1994.

PLAVNIK, I.; WAX, E.; SKLAN, D.; HURWITZ, S. The response of broiler chickens and turkey poults to steam-pelleted diets supplemented with fat or carbohydrates. **Poultry Science**, v.76, p.1006-1013, 1997.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T.; EUCLIDES, R. F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos**. 3ª edição, Viçosa, MG: UFV, p.252, 2011.

ROZA, L. F.; TAVERNARI, F. C.; SUREK, D.; SORDIA, C.; ALBINO, L. F. T.; PAIANO, D.; BOIAGO, M. M.; PETROLI, T. G.; CUNHA JÚNIOR, A. Metabolizable energy and amino acid digestibility of mash and pelleted diets for broilers determined under different methodologies. **Animal Feed Science and Technology**, v.235, p.1-7, 2018.

SILVERSIDES, F. G.; BEDFORD, M. R. Effect of pelleting temperature on the recovery and efficacy of a xylanase enzyme in wheat-based diets. **Poultry Science**, v.78, p.1184–1190, 1999.

SKOCH, E. R.; BEHNKE, K. C.; DEYOE, C. W.; BINDER, S. F. The effect of steam-conditioning rate on the pelleting process. **Animal Feed Science and Technology**, v.6, p.83-90, 1981.

SLOAN, D. R.; BOWEN T. E.; WALDROUP, P. W. Expansion-extrusion processing of corn, milo, and raw soybeans before and after incorporation in broiler diets. **Poultry Science**, v.50, p.257–261, 1971.

SVIHUS, B.; UHLEN, A. K.; HARSTAD, O. M. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v.122, p.303–320, 2005.

SVIHUS, B. The role of feed processing on gastrointestinal function and health in poultry. Pages 183–194 in **Avian Gut Function in Health and Disease**. G. C. Perry, ed. CAB International, Wallingford, UK, 2006.

SVIHUS, B.; KLØVSTAD, K. H.; PEREZ, V.; ZIMONJA, O.; SAHLSTRÖM, S.; SCHÜLLER, R. B.; JEKSRUD, W. K.; PRESTLØKKEN, E. Nutritional effects of pelleting of broiler chicken diets made from wheat ground to different coarsenesses by the use of roller mill and hammer mill. **Animal Feed Science and Technology**, v.117, p.281-293, 2004.

SCOTT, T. A.; SWIFT, M. L.; BEDFORD, M. R. The influence of feed milling, enzyme supplementation, and nutrient regimen on broiler chick performance. **Journal Applied of Poultry Research**, v.6, p.391-398, 1997.

VAN KEULEN, J.; YOUNG, B. A. Evaluation of acidinsoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. **Journal of Animal Science**, v.44, p.282-287, 1977.

VORAGEN, A. G. J.; GRUPPEN, H.; MARSMANI, G. J. P.; MUL, A. J. Effect of some manufacturing technologies on chemical, physical and nutritional properties of feed. In: **Recent advances in animal nutrition**. GARNSWORTHY, P. C.; COLE, D. J. A (eds.). Nottingham University Press, p. 93-126, 1995

VORAGEN, A. G. J.; GRUPPEN, H.; MARSMANL, G. J. P.; MUL, A. J. Effect of some manufacturing technologies on chemical, physical and nutritional properties of feed. Pages 93-126 in **Recent Advances in Animal Nutrition**. P. C. Garnsworthy and D. J. A. Cole, ed. Nottingham University Press, Nottingham, UK, 1995.

WALTER, M.; SILVA L. P.; PERDOMO D. M. X. Amido disponível e resistente em alimentos: adaptação do método da AOAC 996.11*. *Alimentos e Nutrição*. 16:39-43, 2005.

WILLIAMS, P. E. V.; MONGE, H.; JACKSON, D. Effects on the performance of poultry of manufacturing feed. using expansion plus pelleting compared with pelleting alone. In: **Proceedings of Australian Poultry Science Symposium**, 1997.

ZELENKA, J. Effect of pelleting on digestibility and metabolizable energy values of poultry diets. **Czech Journal Animal Science**, v.48, p.239–242, 2003.

ZIMONJA, O.; HETLAND, H.; LAZAREVIC, N.; EDVARSEN, D. H.; SVIHUS, B. Effects of fiber content in pelleted wheat and oat diets on technical pellet quality and nutritional value for broiler chickens. **Canadian Journal of Animal Science**, v.88, p.613-622, 2008.

CAPÍTULO IV - EQUIVALÊNCIA ENERGÉTICA DO PROCESSAMENTO TÉRMICO DO MILHO E DA PELETIZAÇÃO DE DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE

RESUMO

Dois experimentos foram conduzidos com a finalidade de estimar a equivalência energética do processamento térmico do milho e da dieta completa para frangos de corte. No primeiro experimento foram utilizados 1400 frangos de corte machos de 22 a 42 dias de idade, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com sete tratamentos e oito repetições de 25 aves cada. Os tratamentos consistiram de dieta à base de milho (farelado, sem processamento térmico) e farelo de soja, com níveis crescentes de energia (3070, 3120, 3170, 3220 e 3270 kcal/kg), e dois tratamentos com 3070 kcal/kg, mas com substituição total do milho farelado por milho peletizado ou por milho expandido. Avaliou-se o consumo de ração (CR), ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA) e os dados obtidos para as dietas com níveis crescentes de energia foram submetidos à análise de regressão ($P < 0,05$). A equação gerada foi utilizada para calcular a equivalência energética do processamento do milho para cada variável de desempenho avaliada. Já no experimento 2, foram utilizados 720 frangos de corte machos de 35 a 47 dias de idade, distribuídos em DIC com cinco tratamentos e oito repetições de 18 aves cada. Os animais foram alimentados com dietas fareladas com níveis crescentes de energia (3040, 3120, 3200 e 3280 kcal/kg), e mais um tratamento composto pela dieta de menor nível de energia, porém peletizada. As variáveis analisadas bem como a análise estatística utilizadas foram as mesmas do experimento 1. Analisando o processamento térmico do milho, houve significância para a análise de regressão para as variáveis CR e CA, resultando em 64 e 43 kcal/kg respectivamente com o uso de milho peletizado, e 181 e 127 kcal/kg respectivamente com o milho expandido. Já na avaliação da peletização na dieta completa, houve efeito para GP e CA, resultando em valores de equivalência da peletização de 177 e 36 kcal/kg respectivamente. Assim, conclui-se que a equivalência energética do milho é melhorada pelo processo de peletização e expansão, disponibilizando mais energia. A peletização da dieta resulta em maior equivalência energética em relação à dieta farelada.

Palavras-chave: Energia. Expansão. Gelatinização do amido. Processamento térmico. Peletização

CHAPTER IV - ENERGY EQUIVALENCE OF THE CORN THERMAL PROCESSING AND PELLETING FOR BROILERS

ABSTRACT

Two experiments were conducted to estimate the energy equivalence of the corn thermal processing and of the complete diet for broilers. In the first experiment, 1400 male broilers from 22 to 42 days of age were used, distributed in a completely randomized design (CRD) with seven treatments and eight replicates of 25 birds each. The treatments consisted of a corn-based diet (no heat processing) and soybean meal, with increasing energy levels (3070, 3120, 3170, 3220 and 3270 kcal/kg), and two treatments with 3070 kcal/kg, but with total replacement of mash corn for pelleted or expanded corn. The feed intake (FI), weight gain (WG) and feed conversion ratio (FCR) were evaluated and the data obtained for the diets with increasing energy levels were submitted to regression analysis ($P < 0.05$). The equation generated was used to calculate the energy equivalence of corn processing for each evaluated performance variable. In experiment 2, 720 broiler males from 35 to 47 days of age were used, distributed in CRD with five treatments and eight replicates of 18 birds each. The animals were fed diets with increasing diet energy levels (3040, 3120, 3200 and 3280 kcal/kg), and a treatment composed by the lowest energy diet, but pelleted. The parameters analyzed as well as the statistical analysis used were the same as in experiment 1. In the evaluation of the corn thermal processing, there was a linear effect for the FI and FCR variables, resulting in 64 and 43 kcal/kg respectively with the use of pelleted corn, and 181 and 127 kcal/kg respectively with expanded corn. In the evaluation of the effect of pelleting of the complete diet, there was an effect for WG and FCR, resulting in equivalence values of 177 and 36 kcal/kg, respectively. Thus, it is concluded that the energy equivalence of corn is improved by pelleting and expansion process, releasing more energy. The pelleting process of the diet results in greater energy equivalence in relation to mash.

Keywords: Energy. Expansion. Starch gelatinization. Thermal processing. Pelleting.

1. INTRODUÇÃO

A peletização é o principal processamento térmico de rações para frangos de corte. Neste processo, os ingredientes que foram moídos e misturados são aglomerados, por meio de processos mecânicos, combinados a umidade, pressão e temperatura. Um amplo range de temperatura e umidade pode ser empregado durante o condicionamento, variando comumente de 60 a 100°C e 12 a 18% de umidade (HANCOCK, 1992).

Os benefícios da peletização são amplamente reportados na literatura (LATSHAW & MORITZ, 2009; DOZIER et al. 2010; ABDOLLAHI et al. 2013; MINGBIN et al. 2015). Frangos de corte alimentados com dietas peletizadas apresentam maior capacidade de consumo (LATSHAW, 2008), proporcionado pela maior facilidade de apreensão dos peletes e consequente redução do tempo necessário para ingestão (JENSEN et al. 1962). O maior consumo de nutrientes associado a menor energia despendida no processo de apreensão e ingestão do alimento (McKINNEY and TEETER, 2004) pode resultar em maior ganho de peso.

A digestibilidade das frações da dieta também pode ser melhorada com a ação da temperatura, umidade, pressão e tempo de exposição empregados no tratamento térmico (SCOTT et al. 1997; MORITZ et al., 2005; MASSUQUETTO et al., 2017). Entretanto, diversos estudos têm mostrado que o processo de condicionamento/peletização exerce pouco efeito sobre a gelatinização do amido (SKOCH et al. 1981; SVIHUS et al., 2004; ZIMONJA et al., 2008) e modificação das proteínas (ABDOLLAHI et al., 2011; ROZA et al., 2018).

A fim de aumentar a disponibilidade dos ingredientes, a expansão de rações e das matérias-primas é uma estratégia que tem sido cada vez mais utilizada em fábricas de ração. Trata-se de um processo de alta temperatura e curto tempo (high temperature and short time; HTST) que é utilizado principalmente anterior a peletização para intensificar o processo de condicionamento. O processo HTST é criado pela transferência de energia mecânica para energia térmica, o que permite alcançar temperaturas altas como 126.7°C, e a pressão superior a 1200 PSI (FANCHER et al., 1996). Trabalhos têm demonstrado que processamentos mais intensos como a expansão melhoram a disponibilidade do amido e da proteína (MORITZ et al., 2005; KOKIĆ et al., 2013; MURAMATSU et al., 2016).

A melhora da digestibilidade das frações da dieta, proporcionada pelo processamento térmico, grande parte das vezes, pode aumentar o valor da energia metabolizável (ZELENKA, 2003). Apesar disso, dados na literatura demonstrando qual o valor de energia liberado por meio do processamento das matérias-primas bem como da dieta são escassos. Assim, este trabalho teve como objetivo estimar a equivalência energética do processamento térmico do milho e da dieta completa para frangos de corte.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Todos os procedimentos realizados foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal do Paraná (UFPR), sob protocolo nº 020/2015.

2.1 EXPERIMENTO 1

2.1.1 Composição e fabricação das dietas

No período que antecedeu o fornecimento das dietas experimentais, todas as parcelas receberam uma mesma dieta inicial farelada até os 21 dias, de acordo com Rostagno et al. (2011). Após esse período, as dietas fornecidas às aves foram à base de milho e farelo de soja, variando 200 kcal/kg (3070, 3120, 3170, 3220 e 3270 kcal/kg). Para obtenção dos tratamentos com diferentes níveis de energia, foram formuladas duas dietas com o menor e maior nível de energia, obtidos por meio da inclusão de um componente inerte (caulim) e óleo de soja (tabela 1). Foi realizada a mistura entre as dietas de menor e maior energia nas proporções adequadas para obter níveis de energia intermediários. Em dois tratamentos iguais ao menor nível de energia, o milho farelado foi substituído 100% por milho peletizado e no outro por milho expandido a fim de estimar o efeito do tipo de processamento sobre a disponibilização de energia (tabela 2). O milho foi peletizado em uma peletizadora Van Arsen (modelo C-900), com matriz circular de 55 mm e furos de 4,5 mm. O condicionamento foi realizado a uma temperatura de 84°C, pressão de 1,2 kgf/cm² durante 13 segundos. O processo de expansão do milho foi

realizado em Expander Kahl (modelo OE38.2), à temperatura média de 105°C e pressão de 96 kgf/cm², durante 4 segundos. Ao final do processo, tanto o milho peletizado quanto o expandido submetidos a secagem/resfriamento até atingir 32°C e moídos em moinho de martelos com peneira de 6mm para atingir granulometria semelhante ao do milho farelado. As rações experimentais foram ofertadas na forma física farelada.

Tabela 1. Composição alimentar e nutricional das dietas experimentais.

Ingredientes (%)	Níveis de energia (kcal/kg)	
	3270	3070
Milho	58,940	58,290
Farelo soja	32,800	32,900
Caulim ¹	-	2,600
Óleo soja	5,360	3,290
Calcário	1,190	1,190
Fosfato bicálcico	0,560	0,560
Sal comum	0,450	0,460
DL-metionina	0,240	0,245
L-lisina	0,160	0,160
L-treonina	0,034	0,034
Cloreto de colina	0,102	0,102
Premix vitamínico ²	0,100	0,100
Premix mineral ³	0,050	0,050
Fitase ⁴	0,010	0,010
Composição química calculada (%)		
Energia metabolizável (kcal/kg)	3271	3069
Proteína bruta	20,418	20,422
Extrato etereo	8,071	5,997
Fibra bruta	2,383	2,377
Mat. Mineral	4,755	7,364
Cálcio	0,760	0,761
Fósforo total	0,436	0,435
Fósforo disponível	0,371	0,370
Sódio	0,198	0,202
Lisina digestível	1,244	1,246

¹Celite (Celite Corp., Lompoc, CA).

²Suplementado por kg da dieta: vit. A 15.000 IU; vit. D3 5.000 IU; vit. E 100mg; vit. K 5mg; ácido fólico 3mg; ácido nicotínico 75mg; ácido pantotênico 25mg; riboflavina 8mg; tiamina 5mg; piridoxina 7mg; biotina 300qg; colina 400mg; vit. B12 20qg.

³Suplementado por kg da dieta: iodo 2mg; selênio 200qg; cobre 20mg; ferro 50mg; manganês 120mg; zinco 100mg.

⁴RONOZYME® HiPhos (GT).

2.1.2 Animais e instalações

Foram utilizados 1400 pintos de corte machos da linhagem comercial *Cobb 500*, oriundos de incubatório comercial, de 22 a 42 dias de idade. As aves alojadas em boxes de 1,65 m de comprimento e 1,25 m de largura, sobre cama de maravalha, equipados com bebedouros *nipple* e comedouros tubulares. As aves receberam água e ração *ad libitum* e, diariamente, foi feita verificação temperatura, mortalidade, qualidade da água, qualidade do ar e fornecimento de ração. A temperatura e o programa de luz foram mantidos de acordo com o preconizado no manual da linhagem (COBB, 2013).

2.1.3 Delineamento e tratamentos

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com sete tratamentos e oito repetições de 25 aves cada. Os tratamentos foram compostos por dietas fareladas com cinco níveis de energia, e dois tratamentos no qual foi realizada substituição total do milho farelado por milho peletizado ou expandido, conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2. Tratamentos experimentais com milho farelado (F), milho peletizado (P) e milho expandido (E).

Tratamentos	Milho	Energia (Kcal/kg)
F+200 Kcal	Farelado	3270
F+150 Kcal	Farelado	3220
F+100 Kcal	Farelado	3170
F+50 Kcal	Farelado	3120
F+0 Kcal	Farelado	3070
P+0 Kcal	Peletizado	3070
E+0 Kcal	Expandido	3070

2.1.4 Desempenho zootécnico

Aos 22 e 42 dias de idade, todas as aves dos boxes e as sobras de ração nos comedouros foram pesados para determinar o consumo de ração (CR), ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA). A mortalidade foi verificada diariamente.

2.1.5 Análise estatística

Os dados obtidos para os tratamentos com níveis crescentes de energia foram submetidos à análise de regressão linear ($P < 0,05$), conforme o modelo:

$$Y = a + b \times X$$

No qual, **Y** é o resultado encontrado para a variável, **a** é a constante onde a regressão encontra o eixo Y, **b** é a inclinação da linha de tendência e **X** é o nível de energia. Na regressão, considerou-se o tratamento de menor nível energético como nível zero e, para os demais tratamentos, foi considerado o valor da diferença entre a energia do tratamento e o nível zero. Dessa maneira os níveis energéticos foram crescentes, de 0 a 200 kcal/kg, conforme a diferença de energia entre os tratamentos experimentais. A equivalência foi calculada igualando a equação obtida, com os níveis crescentes de energia, com o resultado da variável dependente encontrado com o pré-processamento do milho. A análise de equivalência energética do processamento foi adaptada da metodologia realizada por Adedokun et al. (2004). Substituindo o Y (variável dependente) na equação é possível encontrar o valor X, que representa a energia equivalente ao biodisponibilizado pelo processamento do milho.

2.2 EXPERIMENTO 2

2.2.1 Composição e fabricação das dietas

As dietas fornecidas às aves foram à base de milho e farelo de soja, fareladas e com níveis crescentes de energia, variando até 240 kcal/kg entre os tratamentos (3040, 3120, 3200 e 3280 kcal/kg) conforme apresentado na tabela 3. Os diferentes níveis de energia dos tratamentos foram obtidos por meio da inclusão de óleo de soja e de um componente inerte (caulim). Para verificar o efeito do processamento sobre a disponibilização de energia, adicionou-se um tratamento peletizado da dieta de menor energia (3040 kcal/kg). Realizou-se a adição de 1,75% de óleo de soja no misturador em todas as dietas. Para completar a quantidade de

óleo necessário para atingir o nível de energia de cada tratamento, o restante do óleo foi remisturado em misturador vertical nas dietas fareladas. Já na peletizada, a adição de óleo ocorreu por aspersão pós-peletização.

No processo de peletização, foi utilizada a peletizadora a vapor (Koppers Júnior C40 - Koppers Company, Inc. Pittsburgh, PA, USA), com motor de 50 CV da marca Siemens e anel com furos de diâmetro de 3/16 polegadas. O tempo de condicionamento foi de 10 segundos com temperatura de 75°C e pressão de 1,2 kgf/cm². Após a peletização, as dietas foram secas e resfriadas a temperatura média de 37°C. Foram coletadas oito amostras após o resfriamento, submetidas a tombamento durante 10 minutos e rotação de 50 rpm para calcular o Índice de Durabilidade dos Peletes (PDI). A dieta apresentou PDI médio de 93,7%.

Tabela 3. Composição alimentar e nutricional das dietas experimentais.

Ingredientes (%)	Nível de energia (kcal/kg)			
	3040	3120	3200	3280
Milho	58,216	58,216	58,216	58,216
Farelo de soja	30,627	30,627	30,627	30,627
Óleo de soja ¹	4,309	5,222	6,134	7,047
Caulim	3,000	2,087	1,175	0,262
Celite ²	1,000	1,000	1,000	1,000
Fosfato bicálcico	1,019	1,019	1,019	1,019
Calcário calcítico	0,804	0,804	0,804	0,804
Sal (NaCl)	0,381	0,381	0,381	0,381
Premix mineral ³	0,050	0,050	0,050	0,050
Premix vitamínico ⁴	0,080	0,080	0,080	0,080
L-lisina	0,207	0,207	0,207	0,207
DL- metionina	0,224	0,224	0,224	0,224
L-treonina	0,072	0,072	0,072	0,072
Aditivo antioxidante ⁵	0,010	0,010	0,010	0,010
Composição química calculada (%)				
EM (kcal/kg)	3040	3120	3200	3280
Proteína bruta	18,226	18,226	18,226	18,226
Matéria mineral	4,694	3,265	1,838	0,410
Gordura	6,912	8,377	9,839	11,304
Cálcio	0,638	0,638	0,638	0,638
Fósforo total	0,533	0,533	0,533	0,533
Fósforo disponível	0,300	0,300	0,300	0,300
Sódio	0,160	0,160	0,160	0,160
Lisina digestível	1,010	1,010	1,010	1,010
Metionina digestível	0,458	0,458	0,458	0,458
Metionina + cisteína digestível	0,737	0,737	0,737	0,737
Treonina digestível	0,656	0,656	0,656	0,656
Triptofano digestível	0,194	0,194	0,194	0,194

¹ Foi assumido um valor de energia metabolizável aparente de 8.800 kcal/kg de óleo de soja.

² Celite®, Celite Corp., Lompoc, CA.

³ Fornecido por quilograma de premix: 20g de cobre, 100g de ferro, 160g de manganês, 2000mg de cobalto, 2000mg de iodo e 100g de zinco.

⁴ Fornecido por quilograma de premix: vit. A 9.000.000IU; vit. D3 2.500.000IU; vit. E 200.000IU; vit. K3 2.500mg; vit. B1 1.500mg; vit. B2 6.000mg; vit. B6 3000mg; vit. B12 12.000 mcg; ácido pantotênico 12g; niacina 25g; ácido fólico 800mg; biotina 60mg; selênio 250mg.

⁵ Hidroxitolueno butilado (B.H.T 98, Cargill, Inc., Minneapolis, MN).

2.2.2 Animais e instalações

Foram utilizados 720 frangos de corte machos da linhagem comercial *Cobb 500*, oriundos de incubatório comercial, de 35 a 47 dias de idade. As aves foram alojadas nas mesmas condições do experimento 1.

No período que antecedeu o fornecimento das dietas experimentais, os animais receberam uma dieta padrão farelada até os 35 dias, formulada para atender os requerimentos nutricionais de acordo com Rostagno et al. (2011). As aves receberam água e ração *ad libitum* e o manejo realizado no aviário bem como o programa de luz foram os mesmos do experimento 1.

2.2.3 Delineamento e tratamentos

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos e oito repetições de 18 aves cada (tabela 4).

Tabela 4. Tratamentos experimentais.

Tratamentos	Forma física	Energia (Kcal/kg)
F+240 Kcal	Farelada	3380
F+160 Kcal	Farelada	3200
F+80 Kcal	Farelada	3120
F+0 Kcal	Farelada	3040
P+0 Kcal	Peletizada	3040

2.2.4 Análise estatística

Os dados obtidos para os tratamentos com níveis crescentes de energia foram submetidos à análise de regressão linear ($P < 0,05$), e o modelo foi o mesmo utilizado no experimento 1. Na regressão, considerou-se o tratamento de menor nível energético como nível zero e, para os demais tratamentos, foi considerado o valor da diferença entre a energia do tratamento e o nível zero. Entretanto, os níveis energéticos variaram de 0 a 240 kcal/kg, conforme a diferença de energia entre os tratamentos experimentais. A equivalência foi calculada igualando a equação obtida, com os níveis crescentes de energia, com o resultado da variável dependente

encontrado com o processo de peletização da dieta. A análise de equivalência energética da peletização também foi adaptada da metodologia realizada por Adedokun et al. (2004). Colocando o Y (variável dependente) na equação é possível encontrar o valor X, que representa a energia equivalente ao biodisponibilizado pelo processo de peletização.

3. RESULTADOS

3.1 EXPERIMENTO 1

O CR reduziu linearmente com o aumento da energia ($P < 0,05$) ao passo que houve melhora linear na CA com o aumento de energia na dieta ($P < 0,001$), conforme apresentado na tabela 5. O GP não respondeu aos níveis crescentes de energia na dieta ($P > 0,05$).

Tabela 5. Consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), e conversão alimentar (CA) de frangos de corte alimentados com dietas fareladas com crescentes níveis de energia, contendo milho farelado, peletizado ou expandido.

Tratamento	CR (kg)	GP (kg)	CA (kg/kg)
F+200 Kcal	3,143	2,004	1,569
F+150 Kcal	3,127	2,001	1,563
F+100 Kcal	3,104	1,956	1,587
F+50 Kcal	3,278	1,990	1,648
F+0 Kcal	3,286	1,997	1,646
P+0 Kcal	3,218	1,976	1,629
E+0 Kcal	3,113	1,961	1,587
CV	3,25	3,29	2,50
Regressão			
Linear	0,015	0,998	<0,001
Quadrática	0,535	0,749	0,956

CV = coeficiente de variação

Nas regressões (figura 1 e 2), realizaram-se as substituições do y das equações pelos valores das variáveis encontradas com as dietas contendo milho peletizado e expandido, conforme apresentado na tabela 6. O CR demonstra uma liberação de 64 e 181 kcal/kg para milho peletizado e expandido, respectivamente. Para a CA foram obtidos valores de 43 e 127 kcal/kg, respectivamente.

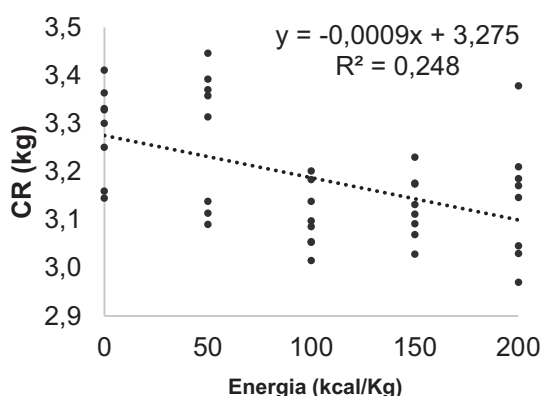


Figura 1. Regressão linear do consumo de ração (CR) de frangos de corte alimentados com dietas fareladas com níveis crescentes de energia.

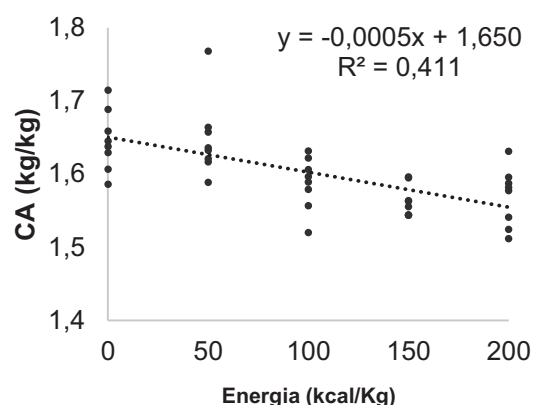


Figura 2. Regressão linear da conversão alimentar (CA) de frangos de corte alimentados com dietas fareladas com níveis crescentes de energia.

Tabela 6. Equivalência energética calculada com consumo de ração (CR) e pela conversão alimentar (CA) de frangos de corte de 22 a 42 dias de idade.

Parâmetro	Equação de regressão	R ²	Equivalência energética (Kcal/kg) ¹	
			P-100kcal	E-100kcal
CR (kg)	Y = -0,0009x + 3,2756	0,2483	64	181
CA (kg/kg)	Y = -0,0005x + 1,6503	0,4116	43	127

¹ Calculada pela substituição do valor de y da equação pelos valores obtidos para CR e CA com milho peletizado ou expandido, para estimar a energia (x), baseado na metodologia descrita por Adedokun et al. (2004).

3.2 EXPERIMENTO 2

Não houve efeito dos níveis de energia para consumo CR ($P > 0,05$; tabela 7). O GP aumentou linearmente com o aumento da energia ($P < 0,05$) e houve melhora linear na CA ($P < 0,001$).

Tabela 7. Consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), e conversão alimentar (CA) de frangos de corte alimentados com dietas fareladas com crescentes níveis de energia, e dieta peletizada.

Nível de energia (kcal/kg)	CR (g)	GP (g)	CA (g/g)
F+240 Kcal	2,499	1,378	1,814
F+160 Kcal	2,484	1,345	1,847
F+80 Kcal	2,479	1,335	1,857
F+0 Kcal	2,494	1,288	1,939
P+0 Kcal	2,794	1,471	1,901
CV	3,415	3,544	3,908
Regressão			
Linear	0,999	<0,001	0,051
Quadrática	0,977	0,960	0,871

CV = coeficiente de variação

Nas regressões (figura 3 e 4), realizaram-se as substituições do y das equações pelos valores das variáveis encontradas com a dieta peletizada, conforme apresentado na tabela 8. O valor obtido para GP demonstra uma liberação de 177 kcal/kg para o processo de peletização, e para a CA de 36 kcal/kg.

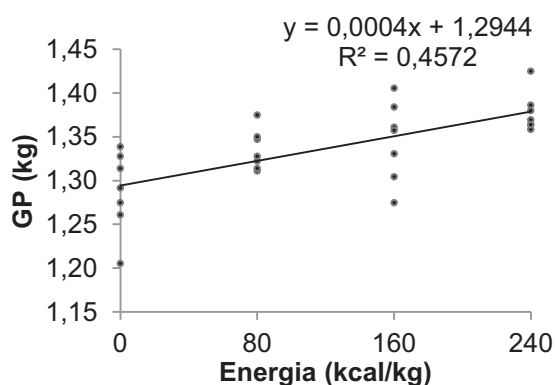


Figura 3. Regressão linear do ganho de peso (GP) de frangos de corte alimentados com dietas fareladas com níveis crescentes de energia.

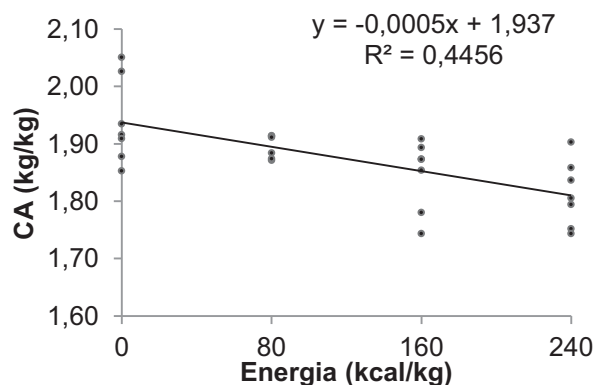


Figura 4. Regressão linear da conversão alimentar (CA) de frangos de corte alimentados com dietas fareladas com níveis crescentes de energia.

Tabela 8. Equivalência energética calculada com ganho de peso (GP) e pela conversão alimentar (CA) de frangos de corte de 35 a 47 dias de idade.

Parâmetro	Equação de regressão	R ²	Equivalência da peletização (kcal/kg) ¹
GP (kg)	$Y = 0,0004x + 1,2944$	0,4572	177
CA (kg/kg)	$Y = -0,0005x + 1,937$	0,4456	36

¹ Calculada pela substituição do valor de y da equação pelos valores obtidos para GP e CA com peletização, para estimar a energia (x), baseado na metodologia descrita por Adedokun et al. (2004).

4. DISCUSSÃO

A substituição total do milho farelado pelo peletizado ou expandido resultou em maior liberação de energia. Esses resultados podem ser atribuídos ao processo de gelatinização do amido. Esse processo pode ocorrer quando o grânulo de amido é submetido ao calor, umidade e cisalhamento. A gelatinização é um processo irreversível no qual a água se difunde no grânulo do amido e inicia o rompimento das ligações de hidrogênio existentes na cadeia glicosídica. O grânulo sofre inchamento, perde forma e a amilose começa a extravasar do grânulo, facilitando o acesso enzimático (LUND & LORENZ, 1984; MORAN, 1989; MORITZ et al., 2005).

O processo de expansão se mostrou mais eficiente do que o peletização resultando em 117 kcal/kg a mais para CR e 84 kcal/kg a mais para CA. As altas temperaturas e pressão aplicadas em curto período de tempo no expander podem ter aumentado a gelatinização do amido e promovido maior liberação de energia. Alguns estudos têm mostrado que a peletização exerce menor efeito sobre a disponibilidade dos nutrientes, enquanto processamentos mais intensos como a expansão e extrusão, nos quais há maior temperatura e adição de umidade em curto período de tempo, promovem maiores modificações nas estruturas dos ingredientes (SKOCH et al. 1981; SVIHUS et al., 2004, 2005; ZIMONJA et al., 2008).

A fim de avaliar diferentes tipos de processamento térmico do milho, Kokić et al. (2013), observaram menores graus de gelatinização do amido para floculação (21,3%) e peletização (25,5%), ao passo que processamentos mais intensos como micronização e extrusão resultaram em maiores graus de gelatinização, 63,6 % e 100% respectivamente.

O aumento da digestibilidade de outros componentes da dieta também pode ter contribuído para os valores de equivalência energética encontrados. O tratamento térmico promove a desnaturação das proteínas existentes nos

ingredientes, por meio do rompimento das pontes dissulfeto na estrutura da proteína, permitindo que as proteases atuem mais facilmente melhorando sua digestibilidade (DOZIER, 2001; SCOTT et al., 1997). O tratamento térmico também pode aumentar a digestibilidade do extrato etéreo. Plavnik e Sklan (1995) observaram aumento de 5% na digestibilidade dos ácidos graxos proporcionado pela expansão em relação a dieta farelada. De forma semelhante, Lopez et al. (2007) obtiveram coeficientes de digestibilidade do extrato etéreo de 68,8, 74,6 e 74,4% para dietas fareladas, peletizadas e expandidas respectivamente. Os autores afirmam que esta melhora pode ser atribuída à quebra da parede celular proporcionada pela fricção durante o processamento térmico, permitindo a liberação da gordura intracelular e melhor aproveitamento da gordura da dieta pelas aves.

Os melhores resultados de digestibilidade das frações podem estar associados a um maior valor de energia metabolizável. Plavnik e Sklan (1995) observaram aumento de 1,5% na energia metabolizável aparente (EMA) ao submeter o trigo ou aveia à expansão e substituí-los totalmente na dieta contendo esses grãos sem processamento térmico. De forma semelhante, Moritz et al. (2005) observaram aumento de 93 e 99 kcal/kg de EMA corrigida para nitrogênio a mais ao substituir o milho farelado por peletizado ou extrusado respectivamente. O aumento da EMA nas dietas pode estar associado aos valores de equivalência obtidos no presente trabalho.

Ao avaliar a equivalência energética da peletização, foi possível verificar que esse processo promoveu liberação de energia para GP e CA. A peletização da dieta pode aumentar os valores de EM e contribuir para esta liberação, porém, isso depende dos parâmetros de condicionamento utilizados. Massuquetto et al. (2017) observaram aumento da energia digestível ileal (EDI) de dietas peletizadas em relação à fareladas e, este aumento foi mais expressivo conforme se aumentou o tempo de condicionamento. Entretanto, conforme discutido anteriormente, os parâmetros de condicionamento/peletização promovem pequenas modificações nas estruturas dos ingredientes, assim, os valores de liberação de 177 kcal/kg para GP e 36 kcal/kg para CA não estão relacionados somente a maior biodisponibilidade das frações da dieta. McKinney e Teeter (2004) avaliaram rações contendo diferentes proporções de peletes íntegros e finos (100% peletizada, 80% peletizada, 60%

peletizada, 40% peletizada, 20% peletizada, e farelada) para frangos de corte e constataram aumento na efetividade calórica, ou seja, a quantidade de energia metabolizável disponível para promover GP e CA. Neste estudo, os autores observaram aumento de 76 kcal na efetividade calórica com apenas 20% de peletes, porém, ao fornecer 100% de peletes os autores atribuíram 187 kcal EMn/kg de ração poupada em função do processo de peletização. Os autores sugerem que a maior efetividade calórica também está associada ao menor gasto de energia despendida para consumo de alimento. Jensen et al. (1962) afirmam que devido a maior facilidade de apreensão dos peletes, ocorre redução do tempo necessário para ingestão. É importante ressaltar que os efeitos mais marcantes na digestibilidade das frações geralmente são observados em dietas peletizadas com baixa qualidade física. Ao fornecer uma dieta com alto PDI, o aumento do CR proporcionado pelo efeito de forma física, pode reduzir os coeficientes de digestibilidade, o que não implica necessariamente em menor desempenho.

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho e aos encontrados na literatura, acredita-se que diversos fatores podem estar envolvidos para que a peletização promova melhores resultados. Aparentemente, o principal fator que contribui para os melhores resultados de GP é o consumo (MEINERZ et al., 2001; LATSHAW, 2008), porém os demais fatores como energia poupada no mecanismo de apreensão de alimento bem como a maior digestibilidade das frações da dieta, se somam e contribuem, mesmo que em diferentes proporções, para os valores de energia liberados com o processo de peletização.

5. CONCLUSÕES

A equivalência energética do milho é melhorada pelo processo de peletização e expansão, sendo que este último proporcionou maior liberação de energia devido a maior intensidade do processamento térmico. Para os parâmetros utilizados neste estudo, a peletização da dieta proporciona liberação de 177 kcal/kg no ganho de peso e 36 kcal/kg na conversão alimentar.

6. REFERÊNCIAS

- ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; WESTER, T. J.; RAVINDRAN, G.; THOMAS, D. V. Influence of feed form and conditioning temperature on performance: apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broiler starters fed wheat-based diet. **Animal Feed Science and Technology**, v.168, p.88-99, 2011.
- ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; SVIHUS, B. Influence of grain type and feed form on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of nitrogen, starch, fat, calcium and phosphorus in broiler starters. **Animal Feed Science and Technology**, v.186, p.193-203, 2013.
- ADEDOKUN, S. A.; SANDS, J. S.; ADEOLA, O. Determining the equivalent phosphorus released by an *Escherichia coli*-derived phytase in broiler chicks. **Canadian Journal of Animal Science**, v.84, p.437-444, 2004.
- COBB. 2013. Cobb 500 Broiler: Broiler performance and nutrition supplement, Cobb-Vantress Inc., Siloam Springs, AR.
- DOZIER III, W. A.; BEHNKE, K. C.; GEHRING, C. K.; BRANTON, S. L. Effects of feed form on growth performance and processing yields of broiler chickens during a 42-day production period. **Journal Applied of Poultry Research**, v.19, p.219–226, 2010.
- FANCHER, I.; ROLLINS, D.; TRIMBE, B. Feed processing using the annular gap expander and its impact on poultry performance. **Journal Applied of Poultry Research**, v.5, p.386-94, 1996.
- HANCOCK, J. D. Extrusion cooking of dietary ingredients for animal feeding. Contribution No. 92-316A. Kansas Agriculture Expansion Station. In: **Proceeding of Distillers Feed Conference**. Cincinnati. Ohio. v.47, p.33, 1992.
- JENSEN, L. S.; MERRILL, L. H.; REDDY, C. V.; MCGINNIS, J. Observations on eating patterns and rate of food passage of birds fed pelleted and unpelleted diets. **Poultry Science**, v.41, p.1414–1419, 1962.
- KOKIĆ, B. M.; LEVIĆ, J. D.; CHRENKOVÁ, M.; FORMELOVÁ, Z.; POLÁČIKOVÁ, M.; RAJSKÝ, M.; JOVANOVIĆ, R. D. Influence of thermal treatments on starch gelatinization and in vitro organic matter digestibility of corn. **Food and Feed Research**, v.40, p.93-99, 2013.
- LATSHAW, J. D. Daily energy intake of broiler chickens is altered by proximate nutrient content and form of the diet. **Poultry Science**, v.87, p.89–95, 2008.
- LATSHAW, J. D.; MORITZ, J. S. The partitioning of metabolizable energy by broiler chickens. **Poultry Science**, v.88, p.98-105, 2009.

LOPEZ, C. A. A.; BAIÃO, N. C.; LARA, L. J. C.; RODRIGUEZ, N. M.; CANÇADO, S. V. Efeitos da forma física da ração sobre a digestibilidade dos nutrientes e desempenho de frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p.1006-1013, 2007.

LUND, D.; LORENZ, K. J. Influence of time, temperature, moisture, ingredients, and processing conditions on starch gelatinization. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.20, p.249-273, 1984.

MASSUQUETTO, A.; DURAU, J. F.; SCHRAMM, V. G.; TEIXEIRA NETTO, M. V.; KRABBE, E. L.; MAIORKA, A. Influence of feed form and conditioning time on pellet quality, performance and ileal nutrient digestibility in broilers. **Journal Applied of Poultry Research**, v.27, p.51-58, 2018.

MCKINNEY, L. J.; TEETER, R. G. Predicting effective caloric value of nonnutritive factors: I. Pellet quality and II. Prediction of consequential formulation dead zones. **Poultry Science**, v.83, p.1165-1174, 2004.

MEINERZ, C.; RIBEIRO, A. M. L.; PENZ JR, A. M.; KESSLER, A. M. Níveis de energia e peletização no desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte com oferta alimentar equalizada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.2026-2032, 2001.

MINGBIN, L. V.; LEI, Y.; ZHENGGUO, W.; SHA, A.; MIAOMIAO, W.; ZUNZHOU, L. V. Effects of feed form and feed particle size on growth performance, carcass characteristics and digestive tract development of broilers. **Animal Nutrition**, v.1, p.252–256, 2015.

MORAN, E. T. Effect of pellet quality on the performance of meat birds. Pages 87–108 in Recent Advances in Animal Nutrition. W. Harasign and D. J. A. Cole, ed. Butterworths, London, UK, 1989.

MORITZ, J. S.; PARSONS, A. S.; BUCHANAN, N. P.; CALVALCANTI, W. B.; CRAMER, K. R.; BEYER, R. S. Effect of gelatinizing dietary starch through feed processing on zero to three-week broiler performance and metabolism. **Journal Applied of Poultry Research**, v.14, p.47–54, 2005.

MURAMATSU, K.; VACCARI, I. C. M.; MINAFRA, C. S.; SENS, R. F.; DAHLKE, F.; MAIORKA, A. Effect of thermal processing, press throughput and roller-die gap on physicochemical properties of broiler feed pellets. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.6, p.98-107, 2016.

PLAVNIK, I.; SKLAN, D. Nutritional effects of expansion and short time extrusion on feeds for broilers. **Animal Feed Science and Technology**, v.55, p.247-251, 1995.

ROZA, L. F.; TAVERNARI, F. C.; SUREK, D.; SORDIA, C.; ALBINO, L. F. T.; PAIANO, D.; BOIAGO, M. M.; PETROLI, T. G.; CUNHA JÚNIOR, A. Metabolizable energy and amino acid digestibility of mash and pelleted diets for broilers determined

under diferente methodologies. **Animal Feed Science and Technology**, v.235, p.1–7, 2018.

SCOTT, T. A.; SWIFT, M. L.; BEDFORD, M. R. The influence of feed milling, enzyme supplementation, and nutrient regimen on broiler chick performance. **Journal Applied of Poultry Research**, v.6, p.391-398, 1997.

SKOCH, E. R.; BEHNKE, K. C.; DEYOE, C. W.; BINDER, S. F. The effect of steam-conditioning rate on the pelleting process. **Animal Feed Science and Technology**, v.6, p.83-90, 1981.

SVIHUS, B.; KLØVSTAD, K. H.; PEREZ, V.; ZIMONJA, O.; SAHLSTRÖM, S.; SCHÜLLER, R. B.; JEKSRUD, W. K.; PRESTLØKKEN, E. Nutritional effects of pelleting of broiler chicken diets made from wheat ground to different coarsenesses by the use of roller mill and hammer mill. **Animal Feed Science and Technology**, v.117, p.281-293, 2004.

ZELENKA, J. Effect of pelleting on digestibility and metabolizable energy values of poultry diets. **Czech Journal of Animal Science**, v.48, p.239–242, 2003.

ZIMONJA, O.; HETLAND, H.; LAZAREVIC, N.; EDVARDBSEN, D. H.; SVIHUS, B. Effects of fiber content in pelleted wheat and oat diets on technical pellet quality and nutritional value for broiler chickens. **Canadian Journal of Animal Science**, v.88, p.613-622, 2008.

CAPÍTULO V - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os avanços alcançados pelo setor avícola nas últimas décadas se devem em partes aos programas de melhoramento genético. O desenvolvimento de linhagens intensivamente selecionadas para rápido crescimento, alta eficiência alimentar e rendimento de carne, faz com que a avicultura ocupe posição de destaque na economia brasileira e mundial. Aliada ao melhoramento genético, a nutrição animal evoluiu para atender as necessidades de aves cada vez mais exigentes nutricionalmente e reduzir custos de produção.

A afirmação de que os custos com alimentação representam cerca de 70% dos custos de produção de frangos é amplamente difundida nas pesquisas com nutrição, mostrando a necessidade do surgimento de tecnologias que melhorem o aproveitamento dos ingredientes, e capazes de otimizar os custos com a alimentação. A tecnologia de processamento de rações tem avançado bastante ao longo dos anos, visando atender a essas demandas. Entretanto, apesar da importância, existem poucas produções científicas na área, sendo que grande partes das pesquisas são conduzidas por empresas particulares que, muitas vezes, não divulgam os resultados. Os resultados encontrados nesse trabalho podem contribuir para o entendimento de como os processos de peletização e expansão podem ser utilizados como ferramenta para melhorar o desempenho dos animais.

A importância da forma física da dieta para frangos de corte é indiscutível, ficando evidentes neste trabalho os benefícios da peletização sobre o desempenho zootécnico. No primeiro capítulo, foi demonstrado que um dos principais efeitos da peletização é favorecer o consumo por meio da modificação da forma física. As aves alimentadas com dietas peletizadas fornecidas à vontade apresentaram aumento de 11% no consumo de ração e redução de 6% na conversão alimentar, resultando em ganho de peso 17% superior aos alimentados com dieta farelada. Na maioria das pesquisas encontradas na literatura, o aumento do desempenho proporcionado pela peletização é justificado pelo aumento da biodisponibilidade dos ingredientes resultante do tratamento térmico. Entretanto, neste capítulo ficou claro que o efeito de forma física é mais importante do que o processamento térmico, pois quando o consumo de ração peletizada foi equalizado ao da farelada, não houve melhora no desempenho. Isso ficou ainda mais evidente ao analisar os dados de digestibilidade,

pois não houve diferença no aproveitamento das frações da dieta entre as aves alimentadas com dieta peletizada ou farelada. Uma vez que o processamento térmico pouco afetou a digestibilidade, o aumento do ganho de peso e redução da conversão pode estar associado ao menor gasto de energia no momento do consumo.

O consumo de peletes de alta qualidade foi preponderante para os resultados obtidos. O fornecimento de dietas contendo baixa quantidade de finos pode ter reduzido o gasto energético com a apreensão do alimento e aumentado a efetividade calórica. Ao contrário do que se acreditava, os frangos alimentados com dieta peletizada a vontade apresentaram menor índice de conversão alimentar do que os que foram submetidos a restrição de alimento. Essa melhor eficiência pode estar associada à exigência energética de manutenção proporcionalmente menor. A facilidade de apreensão da dieta peletizada faz com que o consumo seja elevado e o animal atinja maior peso corporal mais rapidamente. Os animais que tiveram o consumo limitado, seja pela dificuldade de apreensão da dieta farelada ou pela restrição quantitativa de ração, podem ter gasto maior energia para consumir alimento, e os gastos energéticos para atividade física também fazem parte da manutenção. Trabalhos da literatura têm mostrado que quando a quantidade de alimento é limitada, os animais utilizam a energia consumida para manutenção, restando pouco para crescimento. Além disso, neste estudo, as aves alimentadas com dieta peletizada apresentaram maior quantidade de proteína e gordura depositadas na carcaça. O consumo de dietas peletizadas pode aumentar o ganho de energia na carcaça e diminuir o incremento calórico, resultando em maior ganho não somente de gordura, mas de tecido magro e de energia líquida.

O consumo de ração também pode ser afetado pelo nível de energia da dieta. No capítulo 2, foi observado aumento linear no consumo de ração quando houve redução progressiva da energia da dieta. Entretanto, o aumento do consumo para compensar o déficit energético ocorreu somente em dietas peletizadas. As aves que receberam a dieta farelada não conseguiram regular o consumo mesmo com a grande diferença de energia entre os tratamentos. Os frangos podem ter atingido o limite máximo de ingestão devido a maior dificuldade no processo de apreensão do alimento e da baixa produção de saliva. Neste capítulo também foi demonstrado que

a redução do nível de energia permite reduzir os efeitos negativos de maior percentual de gordura abdominal na carcaça.

Os valores de exigências nutricionais comumente utilizados como base para a formulação das dietas para frangos de corte foram calculadas a partir de resultados de experimentos utilizando majoritariamente dietas fareladas. Isso tem grande importância quando pensamos em otimizar custos de produção. A inclusão de ingredientes que contribuem para o aumento da energia corresponde pela maior parte do custo de dietas para frangos de corte. Dessa forma, a determinação do nível de energia da dieta é uma das decisões mais importantes na formulação visando melhor desempenho, qualidade de carcaça, eficiência produtiva e viabilidade econômica. Uma vez que as aves alimentadas com dietas peletizadas apresentam maior consumo de ração, o ajuste no nível energético da dieta levando em consideração o acréscimo do consumo pode ser uma ferramenta diluidora de custos na formulação.

No capítulo 2 também foi demonstrado que a qualidade física dos peletes pode ser melhorada por meio da redução da quantidade de gordura adicionada no misturador. A adição de 1,75% no misturador e a aplicação do restante do óleo por meio de aspersão pós-peletização resultou em peletes com mais de 90% de PDI. O fornecimento de peletes íntegros resultou aumento de 10% no consumo de ração, melhorando o ganho de peso em 12% e reduzindo 2% a conversão alimentar. Entretanto, com a peletização houve redução da digestibilidade de todas as frações da dieta avaliadas. Esses resultados demonstram que ao considerar os benefícios da peletização é importante separar o efeito de forma física do efeito de processamento térmico.

Os efeitos positivos sobre aumento da disponibilidade da proteína, amido e energia geralmente são mais evidentes quando as dietas fornecidas são de baixa qualidade física. Porém, ao fornecer dietas com baixa quantidade de finos, o consumo elevado de ração pode levar a uma taxa de passagem da digesta no TGI excessivamente rápida, reduzindo a digestibilidade. Como a digestibilidade é expressa em coeficiente (porcentagem da fração que foi aproveitada), quando analisamos os resultados de digestibilidade e de consumo de ração em conjunto, o aproveitamento dos nutrientes pode ser maior. Tomando como exemplo a

digestibilidade do amido total, houve redução de 95% nas dietas fareladas para 94% em dietas peletizadas. Porém, se analisarmos o valor de digestibilidade em relação ao que foi consumido e aproveitado da MS no período total, obtém-se uma diferença no amido total que foi efetivamente absorvido no intestino de 1891g de amido em dietas fareladas para 1982g de amido em dietas peletizadas. Esses resultados demonstram que, ainda que o coeficiente de digestibilidade das frações da dieta seja menor com dietas peletizadas, ao considerar as 250g a mais de ração consumida, o aproveitamento dos nutrientes no período total pode ter sido maior.

Com o objetivo de intensificar o processamento térmico e melhorar o aproveitamento dos ingredientes, a tecnologia de expansão tem sido cada vez mais utilizada nas indústrias. No capítulo 3, foi possível comprovar os benefícios do pré-processamento térmico do milho sobre a qualidade física da dieta e desempenho de frangos. A expansão do milho pode ter proporcionado maior gelatinização do amido e alteração nas estruturas das proteínas, promovendo adensamento das partículas e resultando em peletes de maior qualidade. Além disso, o pré-processamento dos ingredientes pode ser uma alternativa interessante para reduzir os efeitos negativos como redução da atividade de enzimas e vitaminas adicionadas na dieta, e reações de complexação entre carboidratos e proteínas.

A substituição total do milho pelo expandido melhorou a digestibilidade de todas as frações da dieta avaliadas, promovendo menor índice de conversão alimentar. Os resultados obtidos com a substituição do milho peletizado, reforçam a teoria de que a peletização exerce pouco efeito sobre a biodisponibilidade dos ingredientes, pois não melhorou significativamente o desempenho e digestibilidade.

O processo de expansão parece ser bastante interessante ao analisar somente os benefícios sobre o desempenho dos animais. Contudo, é um processamento de maior custo do que a peletização, que já representa mais de 40% dos custos de industrialização das dietas. Assim, é necessário que as indústrias avaliem a possibilidade de implementação do expander de acordo com as suas condições, do ponto de vista de custo/benefício.

Ainda que os benefícios do processamento térmico sejam extensamente reportados na literatura, o valor de energia que efetivamente pode ser atribuído ao processamento térmico é pouco discutido. No capítulo 4, foi possível estimar a

equivalência energética da peletização e expansão do milho, bem como do processo de peletização da dieta. O processo de expansão do milho resultou em 117 kcal/kg a mais para consumo de ração e 84 kcal/kg a mais para conversão alimentar. Já a peletização da dieta proporcionou liberação de 177 kcal/kg no ganho de peso e 36 kcal/kg na conversão alimentar. Os resultados obtidos neste estudo podem servir como base pelos nutricionistas no momento de estipular quantidade de energia que pode ser poupada com o processamento térmico e reduzir custos de formulação.

A linha de pesquisa de processamento é de extrema importância para as indústrias e para o setor avícola devido à escassez de informações consistentes e aplicáveis. O processamento térmico de rações é bastante complexo, pois pequenas alterações nos parâmetros do processo podem modificar as características físicas e químicas dos ingredientes utilizados. A grande variabilidade das formulações e de equipamentos utilizados, bem como a falta de investimento nas fábricas que comumente trabalham acima da sua capacidade de produção, tornam o processo ainda mais complicado. Dessa forma, novas pesquisas são necessárias para auxiliar supervisores, engenheiros de produção e nutricionistas dentro da indústria de alimentação animal, a compreender a importância do processamento térmico de rações e a desenvolvê-lo da melhor maneira possível para aproveitar os benefícios que ele oferece.

REFERÊNCIAS

ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; SVIHUS, B. Influence of grain type and feed form on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of nitrogen, starch, fat, calcium and phosphorus in broiler starters. **Animal Feed Science and Technology**, v.186, p.193-203, 2013.

ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; WESTER, T. J.; RAVINDRAN, G.; THOMAS, D. V. Influence of conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy, ileal digestibility of starch and nitrogen and the quality of pellets, in broiler starters fed-maize and sorghum-based diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.162, p.106–115, 2010.

ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; WESTER, T. J.; RAVINDRAN, G.; THOMAS, D. V. Influence of feed form and conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broiler starters fed wheat-based diet. **Animal Feed Science and Technology**, v.168, p.88-99, 2011.

ADEDOKUN, S. A.; SANDS, J. S.; ADEOLA, O. Determining the equivalent phosphorus released by an *Escherichia coli*-derived phytase in broiler chicks. **Canadian Journal of Animal Science**, v.84, p.437-444, 2004.

ALLRED, J. B.; FRY, R. E.; JENSEN L. S.; MCGINNIS, J. Studies with chicks on improvement in nutritive value of feed ingredients by pelleting. **Poultry Science**, v.36, p.1284–1289, 1957.

AMERAH, A. M.; RAVINDRAN, V.; LENTLE, R. G. Feed particle size: Implications on the digestion and performance in poultry. **Worlds Poultry Science**. v.63, p.439–451, 2007.

ARAÚJO, W. M. C.; MONTEBELLO, N. P.; BOTELHO, R. B. A.; BORGIO, L. A. **Alquimia dos alimentos**. Brasília, Editora Senac, 2009, 560p.

ASSOCIATION OF THE OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTS – AOAC. **Official and tentative methods of analysis**, 16.ed. Arlington, Virginia: AOAC International, 1995.

BEHNKE, K. C. The Art (Science) of Pelleting. **American Soybean Association**. May 23 - June 10. 2005.

BEHNKE, K. Factors affecting pellet quality. In: **Proceedings Maryland Nutrition Conference**, College of Agriculture, University of Maryland. p.44-54, 1994.

BIAGI, J. D. Tecnologia da peletização da ração. In: Simpósio do colégio brasileiro de nutrição animal, 1990, Campinas. **Anais...** Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, p.37-59, 1990.

BOEKEL, M. A. J. S. Van. Effect of heating on Maillard reactions in milk. **Food Chemistry**, v. 62, p. 403-414, 1998.

BOEKHOLT, H. A.; VAN DER GRINTEN, P. H.; SCHREUS.; LOS, M. J. N.; LEFFERING, C.P. Effect of dietary energy restriction on retention of protein, fat and energy in broiler chickens. **British Poultry Science**, v.35, p.603-614, 1994.

BOLTON, W. The digestibility of mash and pellets by chicks. **Journal Agriculture Science**, v.55, p.141-142, 1960.

BOOSTANI, A.; ASHAYERIZADEH, A.; MAHMOODIAN FARD, H. R.; KAMALZADEH, A. Comparison of the effects of several feed restriction periods to control ascites on performance, carcass characteristics and hematological indices of broiler chickens. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.12, p.171-177, 2010.

BORTOLUZZI, C.; FERNANDES, J. I. M.; CONTINI, J. P.; GURSKI, T. J.; ESSER, A. F. G.; PROKOSKI, K. Quantitative feed restriction from 35 to 42 days of age for broiler chickens. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, v.14, p.778-784, 2013.

BRIÃO, V. B.; FOLLMER, L.; SOUZA, M.; RODRIGUES, V. M. Cinética do escurecimento não-enzimático com soluções modelo de açúcares e aminoácidos em pH neutro e ácido. **Acta Scientiarum Technology**, v.33, p.87-93, 2011.

BRIGGS, J. L.; MAIER, D. E.; WATKINS, B. A.; BEHNKE, K. C. Effect of Ingredients and Processing Parameters on Pellet Quality. **Poultry Science**, v.78, p.1464–1471, 1999.

CALET, C. The relative value of pellets versus mash and grain in poultry nutrition. **World Poultry Science Journal**, v.21, p.23-52, 1965.

CALIFORNIA PELLET MILL CO. The pelleting process. (2012) Disponível em: <<http://ww1.prweb.com/prfiles/2012/01/09/9090113/Animal%20Feed%20Pelleting.PDF>> Acesso em: 10/01/2018.

CAMPBELL, G. L.; BEDFORD, M. R. Enzyme applications for monogastric feeds: A review. **Canadian Journal of Animal Science**, v.72, p.449-466, 1992.

CHEWNING, C. G.; STARK, C. R.; BRAKE, J. Effects of particle size and feed form on broiler performance. **J.Appl.Poult.Res.**, v.21, p.830–7, 2012.

CLASSEN, H. L. Diet energy and feed intake in chickens. **Animal Feed Science and Technology**, 2016.

COBB. 2013. Cobb 500 Broiler: Broiler performance and nutrition supplement, Cobb-Vantress Inc., Siloam Springs, AR.

COLOVIC, R.; VUKMIROVIC, D.; MATULAITIS, R.; BLIZNIKAS, S.; UCHOCKIS, V.; JUSKIENE, V.; LEVIC, J. Effect of die channel press way length on physical quality of pelleted cattle feed. **Journal of Institute for Food Technology**, v.37, p.1-6, 2010.

CORZO, A.; MEJIA, L.; LOAR, I. I. R. E. Effect of pellet quality on various broiler production parameters. **Journal Applied of Poultry Research**, v.20, p.68–74, 2011.

CRESWELL, D., BEDFORD, M. High pelleting temperatures reduces broiler performance. In: Australian Poutry Science Symposium, **Proceedings...**p. 1-6, 2006.

DAHLKE, F.; RIBEIRO, A. M. L.; KESSLER, A. M.; LIMA, A. R. Tamanho da partícula do milho e forma física da ração e seus efeitos sobre o desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.3, p.241-248, 2001.

DOZIER III, W. A. Pelet de calidad para obtener carne de ave más economica. **Alim. Balanc. Anim.**, v.8, p.16-19, 2001.

DOZIER III, W. A.; BEHNKE, K. C.; GEHRING, C.K.; BRANTON, S. L. Effects of feed form on growth performance and processing yields of broiler chickens during a 42-day production period. **Journal Applied of Poultry Research**, v.19, p.219–226, 2010.

DOZIER, W. A.; GEHRING, C. K.; CORZO, A.; OLANREWAJU, H. A. Apparent metabolizable energy needs of male and female broilers from 36 to 47 days of age. **Poultry Science**, v.90, p.804-814, 2011.

DOZIER, W. A.; BEHNKE, K. C.; GEHRING, C. K.; BRANTON, S. L. Effects of feed form on growth performance and processing yields of broiler chickens during a 42-day production period. **Journal Applied Poultry Research**, v.19, p.219–26, 2010.

DUKE, G. E. Alimentary canal: Anatomy, regulation of feeding and motility. In: **Avian Physiology**. Ed: P.D. Sturkie. New York, Springer Verlad, pp. 269-288, 1986.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v.46, p.33-50, 1992.

ENSMINGER, M. E. Processing effects. In: **Feed Manufacturing Technology III**. AFIA. Cap. 66. p. 529-533, 1985.

FAHRENHOLZ, A. C. **Evaluating factors affecting pellet durability and energy consumption in a pilot feed mill and comparing methods for evaluating pellet durability**. 66p. Dissertação de mestrado. Kansas State University, Kansas, 2012.

FAIRFIELD, D. A. Pelleting for Profit - Feed and Feeding Digest. **National Grain and Feed Association Part 1**. v. 54, 2003.

FANCHER, I.; ROLLINS, D.; TRIMBE, B. Feed processing using the annular gap expander and its impact on poultry performance. **Journal Applied of Poultry Research**, v.5, p.386-94, 1996.

FLEISCHMANN, D. C. **High friction expansion of broiler feed prior to pelleting and its effect on broiler performance**. Dissertação de mestrado, Universidade de Pretoria, Pretoria, África do Sul, 2012.

FRANKE, M.; REY, A. Improving pellet quality and efficiency. **Feed Technology**, v.10, n.3, 2006.

GENTLE, M. J.; BREWARD, J. The bill tip organ of the chicken (*Gallus gallus var. domesticus*). **Journal of Anatomy**, v.145, p. 79-85, 1986.

HANCOCK, J. D. Extrusion cooking of dietary ingredients for animal feeding. Contribution No. 92-316A. Kansas Agriculture Expansion Station. In: **Proceedings of Distillers Feed Conference**. Cincinnati. Ohio. v.47, p.33, 1992.

HOLM, J.; BJÖRCK, I. Effects of thermal-processing of wheat on starch 2. Enzymic availability. **Journal of Cereal Science**, v.8, p. 261–268, 1988.

JACOBS, C. M.; UTTERBACK, P. L.; PARSONS, C. M. Effects of corn particle size on growth performance and nutrient utilization in young chicks. **Poultry Science**, v.89, p.539–544, 2010.

JENSEN, L. S. Influence of pelleting on the nutritional needs of poultry. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.13, p.35–46, 2000.

JENSEN, L. S.; MERRILL, L. H.; REDDY, C. V.; MCGINNIS, J. Observations on eating patterns and rate of food passage of birds fed pelleted and unpelleted diets. **Poultry Science**, v.41, p.1414–1419, 1962.

KLEIN, A. A. Peletização de Rações: Aspectos Técnicos, Custos e Benefícios e Inovações Tecnológicas. **Boletim técnico**. Disponível em: <http://pt.engormix.com/MA-balanceados/fabricacao/artigos/peletizacao-racoes-aspectos-tecnicos_159.htm> Acesso em 20 jan. 2018.

KOKIĆ, B. M.; LEVIĆ, J. D.; CHRENKOVÁ, M.; FORMELOVÁ, Z.; POLÁČIKOVÁ, M.; RAJSKÝ, M.; JOVANOVIĆ, R. D. Influence of thermal treatments on starch gelatinization and in vitro organic matter digestibility of corn. **Food and Feed Research**, v.40, p.93-99, 2013.

LATSHAW, J. D. Daily energy intake of broiler chickens is altered by proximate nutrient content and form of the diet. **Poultry Science**, v.87, p.89–95, 2008.

LATSHAW, J. D.; MORITZ, J. S. The partitioning of metabolizable energy by broiler chickens. **Poultry Science**, v.88, p.98–105, 2009.

LEAVER, R. H. The pelleting process. Andritz Sprout. Disponível em: <<http://www.andritzsproutbauer.com/pdf/The-Pelleting-Process-v2008.pdf>> Acesso em: 20 de jan. 2018.

LECZNIESKI, J. L.; RIBEIRO, A. M. L.; KESSLER, A. M.; PENZ JR, A. M. Influência da forma física e do nível de energia da ração no desempenho e na composição de frangos de corte. **Arch. Latinoam. Prod. Anim.** v.9, p. 6-11, 2001.

LEESON, S.; CASTON, L.; SUMMERS, J. D. Broiler response to energy or energy and protein dilution in the finisher diet. **Poultry Science**, p.85-522, 1996.

LOPEZ, C. A. A.; BAIÃO, N. C.; LARA, L. J. C.; RODRIGUEZ, N. M.; CANÇADO, S. V. Efeitos da forma física da ração sobre a digestibilidade dos nutrientes e desempenho de frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p.1006-1013, 2007.

LOWE, R. Judging pellet stability as part of pellet quality. **Feed Tech**, v. 9, n. 2., 2005.

LUND, D.; LORENZ, K. J. Influence of time, temperature, moisture, ingredients and processing conditions on starch gelatinization. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.20, p.249–273, 1984.

MAIORKA, A.; DAHLKE, F.; PENZ JR, A. M., KESSLER, A. M. Diets formulated on total or digestible amino acid basis with different energy levels and physical form on broiler performance. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.7, p.47–50, 2005.

MASSUQUETTO, A.; DURAU, J. F.; SCHRAMM, V. G.; TEIXEIRA NETTO, M. V.; KRABBE, E. L.; MAIORKA, A. Influence of feed form and conditioning time on pellet quality, performance and ileal nutrient digestibility in broilers. **Journal Applied of Poultry Research**, v.27, p. 51-58, 2018.

MCKINNEY, L. J. **Broiler growth models dynamically interfacing metabolic efficiency with the production environment**. PhD Diss. Oklahoma State University, 2005.

McKINNEY, L. J.; TEETER, R. G. Predicting effective caloric value of nonnutritive factors: I. pellet quality and II. prediction of consequential formulation dead zones. **Poultry Science**, Champaign, v.83, p.1165-1174, 2004.

MEINERZ, C.; RIBEIRO, A. M. L.; PENZ JR, A. M.; KESSLER, A. M. Níveis de energia e peletização no desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte com oferta alimentar equalizada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.2026-2032, 2001.

MENDEZ, J. R. I. E.; SANTOMA, G. Feed Manufacturing. **The Nutrition of the Rabbit**. Cab International, 2008.

MINA-BOAC, J.; MAGHIRANG, R. G.; CASADA, M. E. **Durability and Breakage of Feed Pellets during Repeated Elevator Handling**. ASABE Annual International Meeting. ASABE. Portland, Oregon. 2006.

MINGBIN, L. V.; LEI, Y.; ZHENGGUO, W.; SHA, A.; MIAOMIAO, W.; ZUNZHOU, L. V. Effects of feed form and feed particle size on growth performance, carcass characteristics and digestive tract development of broilers. **Animal Nutrition**, v.1, p.252–256, 2015.

MORAN JR, E. T. Comparative nutrition of the fowl and swine. The gastrointestinal system. Guelph, Ontario, Canada: University of Guelph, 1982.

MORAN JR, E. T. Effect of pellet quality on the performance of meat birds. In Recent Advances in Animal Nutrition. W. Harasign and D. J. A. Cole, ed. Butterworths, London, UK, p.87-108, 1989.

MORAN JR, E. T. Pelleting affects feed and its consumption. **Poultry Science**, v. 5, p.30–31, 1987.

MORAN, E. T. Effect of pellet quality on the performance of meat birds. Pages 87–108 in Recent Advances in Animal Nutrition. W. Harasign and D. J. A. Cole, ed. Butterworths, London, UK, 1989.

MOREL, P. C. H.; TIMMERS, J. A.; DE WIT, T. A. T. H.; WOOD, G. R.; SHERRIFF, R.; CAMDEN, B. J.; THOMAS, D. V.; RAVINDRAN, V. Prediction of feed intake in modern broilers. **Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium**, v.13, p.152–155, 2001.

MORITZ, J. S.; PARSONS, A. S.; BUCHANAN, N. P.; CALVALCANTI, W. B.; CRAMER, K. R.; BEYER, R. S. Effect of gelatinizing dietary starch through feed processing on zero-to three-week broiler performance and metabolism. **Journal Applied of Poultry Research**, v.14, p.47–54, 2005.

MURAMATSU K.; MAIORKA A.; DAHLKE F.; LOPES, A. S.; PASCHE, M. Impact of Particle Size, Thermal Processing, Fat Inclusion, and Moisture Addition on Starch Gelatinization of Broiler Feeds. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.16, p.367-374, 2014.

MURAMATSU, K., MAIORKA, A.; VACCARI, I. C. M.; REIS, R. N.; DAHLKE, F.; PINTO, A. A.; ORLANDO, U. A. D.; BUENO, M.; IMAGAWA, M. Impact of particle size, thermal processing, fat inclusion and moisture addition on pellet quality and protein solubility of broiler feeds. **J. Agric. Sci. Technol. A**. v.3, p.1017-1028, 2013.

MURAMATSU, K., VACCARI, I. C. M., MINAFRA, C. S., SENS, R. F., DAHLKE, F., MAIORKA, A. Effect of thermal processing, press throughput and roller-die gap on physicochemical properties of broiler feed pellets. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.6, p.98-107, 2016.

MURAMATSU, K.; MAIORKA, A.; VACCARI, I.C.M.; REIS, R.N.; DAHLKE, F.; PINTO, A.A.; ORLANDO, U.A.D.; BUENO, M.; IMAGAWA, M. Impact of particle size, thermal processing, fat inclusion and moisture addition on pellet quality and protein solubility of broiler feeds. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.3, p.1017-1028, 2013.

MURAMATSU, K.; MASSUQUETTO, A.; DAHLKE, F.; MAIORKA, A. Factors that affect pellet quality: a review. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.5, p.717-722, 2017.

NATEL, J. C. C. Aplicação de diferentes níveis de óleo pós-peletização sobre a qualidade física da ração. 2014. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal do Paraná.

NELSON, D. L.; COX, M. M. Lehninger. **Princípios de Bioquímica**. 5º Ed. São Paulo, Sarvier, 2011.

NIR, I.; HILLEL, R.; PTICHI, I.; SHEFET, G. Effect of particle size on performance. Grinding Pelleting interactions. **Poultry Science**. v.7, p.771-783, 1995.

NIR, I.; PTICHI, I. Feed particle size and hardness: influence on performance, nutritional, behavioral and metabolic aspects. **Advances in Nutritional Technology** p.157-186, 2001.

NIR, I.; SHEFET, Y.; ARONI, G. Effect of particle size on performance. I. corn. **Poultry Science**, v.73, p.45-49, 1994.

NIR, I.; TWINA, Y.; GROSSMAN, E.; NITSAN, Z. Quantitative effects of pelleting on performance, gastrointestinal tract and behaviour of meat-type chickens. **British Poultry Science**, v.35, p.589-602, 1994.

PACHECO, W. J.; STARK, C. R.; Ferket, P. R.; BRAKE, J. Evaluation of soybean meal source and particle size on broiler performance, nutrient digestibility, and gizzard development. **Poultry Science**, v.92, p.2914-2922, 2013.

PARKER, R.; RING, S. G. Aspects of the physical chemistry of starch. **Journal of Cereal Science**, v.34, p.1-17, 2001.

PAYNE, J.; RATTINK, W.; SMITH, T.; WINOWISKI, T. The Pelleting Handbook: A guide for production staff in the compound feed industry. Borregaard, Lignotech, 1998.

PLAVNIK, I.; SKLAN, D. Nutritional effects of expansion and short time extrusion on feeds for broilers. **Animal Feed Science and Technology**, v.55, p.247-251, 1995.

PLUMSTEAD, P. W.; ROMERO-SANCHEZ, H.; PATON, N.D.; SPEARS, J. W.; BRAKE, J. Effects of dietary metabolizable energy and protein on early growth responses of broilers to dietary lysine. **Poultry Science**, v.86, p.2639-2648, 2007.

REIMER, L. Conditioning. Northern Crops Institute Feed Mill Management and Feed Manufacturing Technol. Short Course. p.7. California Pellet Mill Co. Crawfordsville, **Proceedings...** 1992.

RICHARDS, M. P.; PROSZKOWIEC-WEGLARZ, M. Mechanisms Regulating Feed Intake, Energy Expenditure, and Body Weight in Poultry. **Poultry Science**, v.86, p.1478-1490, 2007.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T.; EUCLIDES, R.F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos**. 3ª edição, Viçosa, MG: UFV, p.252, 2011.

ROZA, L. F.; TAVERNARI, F. C.; SUREK, D.; SORDIA, C.; ALBINO, L. F. T.; PAIANO, D.; BOIAGO, M. M.; PETROLI, T. G.; CUNHA JÚNIOR, A. Metabolizable energy and amino acid digestibility of mash and pelleted diets for broilers determined under different methodologies. **Animal Feed Science and Technology**, v.235, p.1–7, 2018.

SALEH, E. A.; WATKINS, S. E.; WALDROUP, A. L.; WALDROUP, P. W. Effects of early quantitative feed restriction on live performance and carcass composition of male broilers grown for further processing. **Journal Applied of Poultry Research**, v.14, p.87–93, 2005.

SCHIFFMAN, H. R. Texture preference and acuity in the domestic chick. **Journal of Comparative and Physiological Psychology**, v.67, p.462-464, 1969.

SCOTT, T. A. Variation in feed intake of broiler chickens. **Recent Advances in Animal Nutrition in Australia**, v.15, 2005.

SCOTT, T. A.; SILVERSIDES, F. G. Defining the effects of wheat type, water inclusion level, and wet–diet restriction on variability in performance of broilers fed wheat–based diets with added water. **Canadian Journal of Animal Science**, v.83, p.265–72, 2003.

SCOTT, T. A.; SWIFT, M. L.; BEDFORD, M. R. The influence of feed milling, enzyme supplementation, and nutrient regimen on broiler chick performance. **Journal Applied of Poultry Research**, v.6, p.391-398, 1997.

SILVERSIDES, F. G.; BEDFORD, M. R. Effect of pelleting temperature on the recovery and efficacy of a xylanase enzyme in wheat-based diets. **Poultry Science**, v.78, p.1184–1190, 1999.

SKINNER, J. T.; WALDROUP, A. L.; WALDROUP, P. W. Effects of dietary nutrient density on performance and carcass quality of broilers 42 to 49 days of age. **Poultry Science**, v. 1, p.367, 1992.

SKINNER-NOBLE, D. O.; MCKINNEY, L.J.; TEETER, R.J. Predicting effective caloric value of nonnutritive factors: III Feed form affects broiler performance by modifying behavior patterns. **Poultry Science**, v. 84, p.403–411, 2005.

SKOCH, E. R.; BEHNKE K. C.; DEYOE C. W.; BINDER S. F. The effect of steam-conditioning rate on the pelleting process. **Animal of Feed Science and Technology**, v. 6, p.83-90, 1981.

SLOAN, D. R.; BOWEN T. E.; WALDROUP, P. W. Expansion-extrusion processing of corn, milo, and raw soybeans before and after incorporation in broiler diets. **Poultry Science**, v.50, p.257–261, 1971.

STEVENS, C. A. **Starch gelatinization and the influence of particle size, steam pressure and die speed on the pelleting process**. Tese de doutorado. Kansas State University, Manhattan, Kansas, 1987.

SUNDU, B. The effect of diet and pellet size on the passage rate of feed in the digestive tract of broiler chickens. **J. Agroland**, v.14, p.330-335, 2008.

SVIHUS, B. The role of feed processing on gastrointestinal function and health in poultry. Pages 183–194 in *Avian Gut Function in Health and Disease*. G. C. Perry, ed. CAB International, Wallingford, UK, 2006.

SVIHUS, B. Limitations to wheat starch digestion in growing broiler chickens: A brief review. **Anim. Prod. Sci.**, v.51, p.583–589. 2011.

SVIHUS, B. The role of feed processing on gastrointestinal function and health in poultry. Pages 183–194 in **Avian Gut Function in Health and Disease**. G. C. Perry, ed. CAB International, Wallingford, UK, 2006.

SVIHUS, B. The role of feed processing on gastrointestinal function and health in poultry. **Avian Gut Function in Health and Disease**, p.183-194, 2006.

SVIHUS, B.; KLØVSTAD, K. H.; PEREZ, V.; ZIMONJA, O.; SAHLSTRÖM, S.; SCHÜLLER, R. B.; JEKSRUD, W. K.; PRESTLØKKEN, E. Nutritional effects of pelleting of broiler chicken diets made from wheat ground to different coarsenesses by the use of roller mill and hammer mill. **Animal Feed Science and Technology**, v.117, p.281-293, 2004.

SVIHUS, B.; UHLEN, A. K.; HARSTAD, O. M. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v.122, p.303–320, 2005.

TEETER, R. G.; SMITH, M. O. Feed intake effects upon gain, carcass yield, and ration digestibility in broilers force fed five feed intakes. **Poultry Science**, v.64, p.2155-2160, 1985.

TEIXEIRA NETTO, M. V. **Temperatura de condicionamento no processo de peletização de dietas para frangos de corte**. 2014. 56f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

THOMAS, M.; HUIJNEN, P. T. H. J.; VAN VLIET, T.; VAN ZUILICHEM, D.; VAN DER POEL, A. F. B. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.79, p.1481-1494, 1999.

THOMAS, M.; VAN DER POEL, A. F. B. Physical quality of pelleted animal feed. **Animal Feed Science and Technology**, v. 61, p.89-112, 1996.

TRAMPEL, D. W.; DUKE, G. E. "Avian digestion." Dukes' **Physiology of Domestic Animals**. Reece, WO (ed.), 12th edition (1st Indian reprint), p.488-500, 2004.

TURK, D. E. The anatomy of the avian digestive tract as related to feed utilization. **Poultry Science**, v.61, p.1225-1244, 1982.

VAN KEULEN, J.; YOUNG, B. A. Evaluation of acidinsoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. **Journal of Animal Science**, v.44, p.282-287, 1977.

VORAGEN, A. G. J.; GRUPPEN, H.; MARSMANI, G. J. P.; MUL, A. J. Effect of some manufacturing technologies on chemical, physical and nutritional properties of feed. In: **Recent Advances in Animal Nutrition**, 1995. Nottingham: University Press, 1995.

WALTER, M.; SILVA L. P.; PERDOMO D. M. X. Amido disponível e resistente em alimentos: adaptação do método da AOAC 996.11*. **Alimentos e Nutrição**. 16:39-43, 2005.

WANG, L. Z.; WHITE, P. J. Structure and properties of amylase, amylopectin and intermediate materials of oat starches. **American Association of Cereal Chemists**, v.71, p.263-268, 1994.

WILLIAMS, P. E. V.; MONGE, H.; JACKSON, D. Effects on the performance of poultry of manufacturing feed. using expansion plus pelletin g compared with pelleting alone. In: **Proceedings od Australian Poultry Science Symposium**, 1997.

WONDRA, K. J.; HANCOCK, J. D.; BEHNKE, K. C.; HINES, R. H.; STARK, C. R. Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v.73, p.757-763, 1995.

ZATARI, I. M.; FERKET, P. R.; SCHIEDLER, S. E. Effect of pellet integrity, calcium lignosulfonate, and dietary energy on performance of summer-raised broiler chickens. **Poultry Science**, v.69, p.198, 1990.

ZELENKA, J. Effect of pelleting on digestibility and metabolizable energy values of poultry diets. **Czech J. Anim. Sci.**, v. 48, p.239–242, 2003.

ZHU, L.; JONES, C.; GUO, Q.; LEWIS, L.; STARK, C. R.; ALAVI, S. An evaluation of total starch and starch gelatinization methodologies in pelleted animal feed. *Journal of Animal Science*, v.94(4), p. 1501-1507, 2016.

ZIMONJA, O.; STEVNEBØ, A.; SVIHUS, B. Nutritional value of diets for broiler chickens as affected by fat source, amylose level and diet processing. **Canadian Journal of Animal Science**, v.87, p.553-562, 2007.

ZIMONJA, O.; HETLAND, H.; LAZAREVIC, N.; EDVARSEN, D. H.; SVIHUS, B. Effects of fiber content in pelleted wheat and oat diets on technical pellet quality and nutritional value for broiler chickens. **Canadian Journal of Animal Science**, v.88, p.613-622, 2008.